

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEJORA DE
PROCESOS EN LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA. BASADA EN LA FILOSOFIA
DE CALIDAD SEIS SIGMA**

**ELKIN ANDRÉS MARTINEZ HENRIQUEZ
KAREN STEPHANIE VERGARA BUJATO
WILSON SARMIENTO RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2012**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEJORA DE
PROCESOS EN LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA. BASADA EN LA FILOSOFIA
DE CALIDAD SEIS SIGMA**

**ELKIN ANDRÉS MARTINEZ HENRIQUEZ
KAREN STEPHANIE VERGARA BUJATO
WILSON SARMIENTO RAMIREZ**

Trabajo de Grado

Asesor, Heriberto Alexander Felizzola Jiménez, Ingeniero Industrial

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2012**

Nota de aceptación:

Firma de presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 24 de septiembre de 2012

Título: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEJORA DE PROCESOS EN LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA. BASADA EN LA FILOSOFÍA DE CALIDAD SEIS SIGMA

Nombre del autor(es) con su respectivo(s) código(s): Elkin Andrés Martínez Henríquez (72.258.073), Wilson Sarmiento Ramírez (72.192.578), Karen Stephanie Vergara Bujato (1.140.820.978)

Título otorgado:Ingeniero(a) Industrial

Director: Harold Pérez Olivera

Nombre del programa académico:Ingeniería Industrial

Instituto: Universidad de la costa, CUC.

Ciudad: Barranquilla

Año: 2012

Resumen: Este proyecto se realizó con el fin de reducir el porcentaje de no conformidades en piezas, causadas en el área de armado de la Fábrica de Muebles H&M Ltda.

La metodología de implementación de las mejoras utilizadas es la filosofía de calidad de Seis Sigma tomando como guía el proceso DMAIC. Para el análisis estadístico de los datos se utilizaron herramientas de control estadístico y el software Minitab como ayuda al procesamiento y análisis de datos.

El objeto del estudio radica en el aumento progresivo de reclamos por parte de nuestro cliente principal, Muebles Jamar. El inconveniente estaba relacionado con la calidad de los productos, lo cual generaba altos índices de rechazos, en su mayoría originados por problemas de armado. Este indicador se mide bajo el porcentaje de rechazos de productos (número de piezas rechazadas/número piezas inspeccionadas). Actualmente estos problemas de armado se presentan con una frecuencia del 26,5%, causando que los indicadores de calidad de la empresa aumenten de manera significativa, desmejorando así la percepción del cliente.

Una manera de mostrar resultados y determinar si las mejoras implementadas están logrando los resultados esperados es a través de las métricas de Seis Sigma: DPU, DPO, DPMO y el Nivel Sigma.

De esta forma y tomando como referencias las métricas trazadas para llevar a cabo la evaluación del proyecto durante su desarrollo, se observó una mejora en el desempeño del proceso. Se redujeron las cantidades de unidades rechazadas por alguna no conformidad y por ende los costos generados por dichas reparaciones o reprocesos. Estos resultados permitieron aumentar el nivel de satisfacción del cliente sobre los productos realizado en la Fábrica de Muebles H&M Ltda. Igualmente representa una mejora en las finanzas de la empresa.

ABSTRACT: This Project was realized to reduce the percentage of nonconformities due to the pieces made by the assembly department of the furniture enterprise H&M LTDA.

The methodology used to the improvements is based on the quality philosophy of 6 sigma, taking as a guide the process DMAIC. Control statistic tools and Minitabs' software were used for the statistical analysis of data.

This was made due to the increase of claims from our principal client: Muebles Jamar. The core of the problem was the quality of products, generating high rejection ratings, especially regarding the assembly process. This indicator is measured according to the percentage of product rejections (number of pieces rejected/number of pieces inspected). Nowadays, these assembly problems have a frequency of 26.5% causing the company's quality indicator to rise, worsen the client's perception.

One way to see if the improvements made are given results is through 6 sigma's metric measurements: DPU, DPO, DPMO and Sigma level.

Using this method and based on the calculations made to evaluate the process throughout its development, we could observe an improvement regarding the process performance. The amount of claims due to rejections because of nonconformities was reduced including the expenses generated for the reparation or reworks. This took as a result the rise up of the client's satisfaction responses and also the rise of the company's profits.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO	13
1.1 INTRODUCCIÓN	13
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo General	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 JUSTIFICACIÓN	16
1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.5.1 Los métodos estadísticos	17
1.5.1.1 La estadística descriptiva	18
1.5.1.2 La estadística inferencial	18
CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA	19
2.1 SEIS SIGMA	19
2.1.1 Antecedentes del enfoque Seis Sigma	19
2.1.1.1 Autores y sus respectivas teorías clásicas de la calidad:	19
2.1.1.2. Evolución histórica de Seis Sigma	25
2.2 ENFOQUE SEIS SIGMA	28
2.2.1 Conceptos básicos	28
2.2.2 Enfoque al cliente	31
2.2.3 Métricas de Seis Sigma	35
2.2.4 impacto en la organización (costos, defectos, productividad y competitividad)	37
2.3 MODELOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SEIS SIGMA	38
2.3.1 DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)	38
2.3.2 Diseño para seis Sigma (DFSS)	41
2.4 HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA SEIS SIGMA	43
2.4.1 Diagrama de Pareto	44
2.4.2 Estratificación	44
2.4.3 Hoja de verificación (obtención de datos)	45

2.4.4 Diagrama de Ishikawa o de causa-efecto	45
2.4.5 Lluvia de ideas	47
2.4.6 Diagrama de dispersión	47
2.4.7 Diagramas de procesos	47
2.4.8 Despliegue de la función de calidad DFC (Quality Function Deployment, QFD)	49
2.4.9 Sistemas Poka-Yoke	51
2.5 AMEF	51
2.6 INFERENCIA ESTADÍSTICA	52
2.6.1 Población y muestra, parámetros y estadísticos	52
2.6.2 Inferencia estadística	53
2.6.3 Estimación puntual y por intervalo	53
2.6.4 Estimación por intervalo	54
2.6.5 Interpretación de un intervalo	55
2.6.6 Conceptos básicos de prueba de hipótesis	56
2.7 ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO	57
2.7.1 Índice C_p	57
2.7.2 Índice C_r	58
2.7.3 Índice C_{pi} , C_{ps} , C_{pk}	58
2.7.4 Índice K	58
2.7.5 Índice C_{pm} (Índice Taguchi)	59
2.7.6 Capacidad de largo plazo e índices P_p y P_{pk}	59
2.7.7 Calidad Tres Sigma	60
2.7.8 Calidad Seis Sigma	61
2.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS	63
2.9 ANÁLISIS DE REGRESIÓN	65
2.9.1 Tipos de análisis de regresión	65
2.9.2 Regresión lineal simple	66
2.9.3 Regresión lineal múltiple:	67
2.10 Análisis de R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad)	68
2.10.1 ANOVA para el estudio R&R largo	70
2.10.2 Estudio R&R corto (short method)	70
2.10.3 Monitoreo del sistema de medición	71
2.10.4 Estudio R&R para atributos	72
2.11 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO	73
2.11.1 Cartas de control	74
2.11.2 Límites de control	74
2.11.3 Tipos de cartas de control	74
2.12 EQUIPO SEIS SIGMA	77

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SEIS SIGMA	79
3.1 FASE 0. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA. Y SELECCIÓN DEL PROYECTO	79
3.2 FASE 1. DEFINICIÓN DE PROYECTO	80
3.3 FASE 2: MEDIR	81
3.4 FASE 3. ANALIZAR	82
3.5 FASE 4. MEJORAR	82
3.6 FASE 5. CONTROLAR	83
 CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE SEIS SIGMA	 84
4.1 FASE 0. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA Y SELECCIÓN DE PROYECTOS	84
4.1.1 Recolección y organización de los datos	84
4.1.2 Análisis de datos	84
4.1.2 Selección de Proyectos	87
4.2 FASE 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO	90
4.2.1 Ficha de definición del proyecto	90
4.2.2 Descripción del proceso	91
4.3 FASE 2: MEDICIÓN DEL PROYECTO SELECCIONADO	97
4.3.1 Definir Métricas	97
4.3.2 Definir sistema de medición	98
4.3.3 Validar el sistema de medición (Análisis de concordancia para atributos)	99
4.3.4 Análisis de capacidad de proceso	106
4.4 Fase 3. Analizar y Validar las causas	109
4.4.1 Análisis del flujo del proceso de Armado	109
4.4.2 Diagramas de Ishikawa	110
4.4.3 Analizar y validar las causas	118
4.5 FASE 4: MEJORAR	135
4.5.1 AMEF (variables de proceso)	135
4.5.2 Establecer estrategias de mejoras	137
4.5.3 Medición del impacto financiero	141
4.6 FASE 5: CONTROLAR	146
4.6.1 Medir el impacto de las estrategias de mejoras con nuevo análisis de capacidad	147
4.6.2 Creación e implementación de indicadores de devoluciones internas de calidad	149

4.6.3 Seguimiento de planes de acción	149
4.6.4 Seguimiento y control de medidas en los procesos de armado y corte	150
4.6.5 Cierre de proyecto.	151
CONCLUSIÓN	152
RECOMENDACIONES	154
BIBLIOGRAFÍA	156

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2. 1 Crosby 6 “C”	25
Figura 2. 2. Evolución histórica 6 sigma	28
Figura 2. 3. Estrategia para enfoque al cliente	33
Figura 2.4 Proceso DMAIC	39
Figura 2.5 Proceso DFSS	42
Figura 2.6 Ejemplo de Diagrama de Pareto	44
Figura 2.7 Diagrama de Ishikawa Método 6M	46
Figura 2.8 Diagrama de Dispersión	47
Figura 2.9 Símbolos para la construcción de un diagrama de flujo	48
Figura 2.10 Diagrama de Matriz DFC	50
Figura 2.11 Pasos para realizar un AMEF	52
Figura 2.12 Calidad Tres Sigma; $Z_c=3$ y $C_p=1$	60
Figura 2.13 Calidad 3 sigma; con un movimiento 1.5 sigma	61
Figura 2.14. Calidad 3 y 6σ ($C_p=2.0$, $C_{pk}= 2.0$, $Z_s=Z_i=6$)	62
Figura 2.15. Ejemplo de Control de proceso estadístico.	74
Figura 2.16. Estructura de Seis Sigma.	78
Figura 3.1. Fases de implementación de la metodología de Seis Sigma.	79
Figura 4.1. Diagrama de Pareto por referencia.	85
Figura 4.2. Diagrama de Pareto por causales.	86
Figura 4.3. Análisis de Costos Vs Tiempo de Reparación.	87

Figura 4.4. Selección de proyecto.	90
Figura 4.5. Análisis de concordancia.	105
Figura 4.6. Análisis de capacidad gráfico P.	106
Figura 4.7. Análisis de capacidad binomial.	107
Figura 4.8. Gráfico P sin datos atípicos.	108
Figura 4.9. Análisis de capacidad binomial sin datos atípicos.	109
Figura 4.10. Diagrama de Pareto de armado.	110
Figura 4.11. Diagrama de Ishikawa causal clavos visibles.	112
Figura 4.12. Diagrama de Ishikawa causal falta de lijado.	113
Figura 4.13. Diagrama de Ishikawa causal gavetas defectuosas.	114
Figura 4.14. Diagrama de Ishikawa causal mala colocación de herrajes.	115
Figura 4.15. Diagrama de Ishikawa causal pegas abiertas.	116
Figura 4.16. Diagrama de Ishikawa causal suciedad de pegantes.	117
Figura 4.17 Esquema de gaveteros.	119
Figura 4.18 Esquema de Gavetas.	121
Figura 4.19 Histograma con curva normal vs operario.	123
Figura 4.20 Histograma curva normal diferencia vs hora.	125
Figura 4.21 Histograma con curva normal diferencia vs día.	126
Figura 4.22 Histograma con curva normal diferencia vs herramienta.	127
Figura 4.23 Histograma con curva normal diferencia vs producto.	129
Figura 4.24 Histograma con curva normal diferencia vs componente.	130
Figura 4.25 Histograma con curva normal diferencia vs parte.	132
Figura 4.26 Histograma con curva normal diferencia vs medida.	134
Figura 4.27. Diagrama de Pareto de causas potenciales del AMEF.	136
Figura 4.28 Costo de devolución.	145
Figura 4.29 Costo de taller único.	146

Figura 4.30 Análisis de capacidad y carta P actualizado.	147
Figura 4.31 Análisis de capacidad binomial y carta p actualizada.	148
Figura 4.32 Reunión de calidad.	150
Figura 4.33 Dispositivos de nocheros y gavetas.	150
Figura 4.34 Dispositivos de gavetas y armado de camas.	151
Figura 4.35 Guías de máquina de corte.	151

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 Niveles de desempeño en Sigma	31
Tabla 2.2 Pasos en el proceso DMAIC	34
Tabla 2.3 Herramientas Estadísticas Básicas del Proceso DMAIC	39
Tabla 2.4 Las 5 Fases de la Metodología DMAIC	40
Tabla 2.5 Diagrama PEPSU	49
Tabla 2.6 Requerimiento para un proceso	50
Tabla 2.7 Resumen de fórmulas para intervalos de confianza	55
Tabla 2.8 Valores del Cp y su interpretación	57
Tabla 2.9. Niveles Sigmas.	62
Tabla 4.1. Criterios para selección de proyecto	88
Tabla 4.2. Matriz de selección de proyecto.	89
Tabla 4.3. Ficha de definición de proyecto.	91
Tabla 4.4 SIPOC	93
Tabla 4.5 Variables Críticas del Proceso	94
Tabla 4.6 Recopilación y tabulación de los resultados.	99
Tabla 4.7. Validación del sistema de medición.	100
Tabla 4.8. Criterios de evaluación y 6M.	119
Tabla 4.9. Criterios de evaluación de AMEF.	135
Tabla 4.10 Plan de mejoras.	143
Tabla 4.11 Costo de devolución.	147

LISTADO DE ANEXOS

ANEXOS	158
ANEXO 1	159
ANEXO 2	160
ANEXO 3	163
ANEXO 4	165
ANEXO 5	169
ANEXO 6	170
ANEXO 7	172
ANEXO 8	174
ANEXO 9	176
ANEXO 10	178
ANEXO 11	181
ANEXO 12	183
ANEXO 13	185
ANEXO 14	187

CAPÍTULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad es cada vez más difícil para cualquier empresa sobresalir en un mercado sumamente competitivo. Casi todos los giros y mercados de las empresas se encuentran saturados por competidores que a toda costa buscan hacerse a la mayor cantidad de clientes posibles, siempre tratando de darles lo que ellos buscan en sus productos o servicios. Es aquí donde la calidad toma importancia, ya que el cliente de hoy es sumamente exigente por lo que las empresas deben ofrecer lo mejor en cuanto a calidad y servicio al cliente se refiere. Es por ello que la calidad es una de las herramientas más poderosas con las que cuentan las empresas para competir en los mercados actuales, logrando a través de esta sobresalir en un mercado que cada vez ofrece más retos y dificultades para las mismas.

La realidad del mercado en lo que respecta al sector madera y lo que tienen que enfrentar las empresas pertenecientes a este gremio hoy día en todo el mundo, hace que la calidad haya dejado de ser un factor adicional en la diferenciación con la competencia para pasar a convertirse en el elemento clave de supervivencia. Si somos capaces de entender la compleja realidad de este tipo de empresas, actualmente debemos darle al término calidad su justo significado, y éste no es más que la excelencia en la administración integral de dichas empresas.

Debido a todas esas necesidades de satisfacer los requerimientos de los clientes, nace una filosofía o estrategia de trabajo llamada el Seis Sigma, la cual basa su enfoque en el cliente, en un manejo eficiente de datos que permite eliminar la variabilidad en los procesos. Los orígenes de Seis Sigma se remontan a 1985, cuando Bill Smith un ingeniero de Motorola, presentó una investigación en la que concluía que si un producto defectuoso era corregido durante el proceso de producción, otros productos defectuosos no serían detectados hasta que el cliente final los recibiera. Por otro lado, si un producto era elaborado libre de errores, éste rara vez le fallaría al cliente. El impacto de esta investigación originó que los directivos de Motorola pidieran a Smith que desarrollara una manera práctica de aplicar su teoría a la compañía.

Seis Sigma ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la productividad y la calidad en una amplia gama de procesos productivos y, por consiguiente, ha permitido generar impactos favorables desde el punto de vista económico.

Teniendo en cuenta los resultados favorables de esta filosofía en cualquier tipo de proceso productivo, se ha querido llevar a la práctica la aplicación de Seis Sigma en la fabricación y producción de muebles hechos en madera.

La implementación de Seis Sigma en la fabricación de muebles de madera nos permite aprovechar una de sus principales características como es la obtención ágil de los resultados; aplicándola de manera sistemática, se obtienen diversos beneficios como son: un éxito sostenido, ayuda a definir un objetivo de rendimiento, aumenta el valor para el cliente, acelera la tasa de mejora, propicia el aprendizaje y lleva a cabo un cambio estratégico.

La metodología DMAIC es una guía que permite implementarla filosofía Seis Sigma; por lo que siguiendo sus pasos detallados, se puede llegar de manera óptima a obtener una calidad deseada en las diferentes áreas y procesos de la fabricación de muebles, lo cual volverá a la empresa competitiva, trayendo éxito a la organización y a quienes la componen. La cultura de calidad que existe en la Fábrica de Muebles H&M Ltda., la ha llevado a ser una de las empresas de muebles más importante y reconocida dentro de los proveedores de Muebles Jamar. El proyecto nace en respuesta a la iniciativa de la empresa de mejorar sus procesos, estandarizarlos en vista del continuo crecimiento que tiene actualmente en el mercado.

El proyecto pretende seguir los pasos detallados por la metodología DMAIC para mejorar el proceso crítico de la empresa. Comenzando con el análisis de los procesos de fabricación de muebles hechos en madera, que en nuestro caso son alcobas, en pos de determinar el proceso cuello de botella o la variable crítica para la calidad del mismo. Posteriormente se procederá a analizar dicha variable en busca de sus causas raíz, las cuales serán analizadas y medidas para determinar su capacidad. Con motivo de mejorar y solucionar, se utilizarán técnicas como el análisis del procesamiento de las alcobas, análisis del puesto de trabajo, identificación de causales que estén generando reprocesos en las diferentes etapas de fabricación, entre otras.

Finalmente se realizará una propuesta de valor que detallará mejoras que pueden ser implementadas en la empresa para el proceso crítico; dichas propuestas serán evaluadas mediante herramientas estadísticas y de gestión que soportan la implementación de la metodología Seis Sigma.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Negociado el TLC entre Colombia y Estados Unidos y puestas las reglas de juego sobre la mesa, es importante conocer a qué se enfrenta la cadena productiva del sector maderero nacional. Cuáles son las amenazas, retos, oportunidades que se vislumbran y ventajas competitivas que le permitirán conquistar el mercado estadounidense.

De hecho, Colombia al consolidar un estado de preferencia comercial con Estados Unidos, se sitúa en un contexto que le permite no sólo competir con Chile, México y Centroamérica, que ya han firmado este acuerdo; sino con otros mercados como el chino, taiwanés e indio que aunque tienen altos niveles de productividad y bajos precios al consumidor, son una amenaza directa para la oferta nacional, a pesar de no contar con un TLC.

Gracias al dinamismo, calidad y diseño de sus productos, la industria de la madera y el mueble nacional es considerada hoy en día como un sector con altas posibilidades para competir y consolidarse como uno de los grandes proveedores del mercado estadounidense y uno de los más beneficiados con la aplicación del TLC.

Éste acuerdo comercial le permitiría al sector maderero, acceder a soluciones que podrían resolver ciertas limitaciones a las que actualmente se enfrenta. El TLC se constituye en una serie de herramientas que facilitarían el desarrollo tanto de las PYMES, como de la gran industria perteneciente al sector.

Así, la industria transformadora de la madera nacional cuenta con un alto potencial identificado; sin olvidar que gracias a su esfuerzo, innovación, mejoramiento productivo, administrativo y empresarial; éste sea hoy en día un sector maduro que se proyecta a conquistar el mercado internacional.

De acuerdo a lo planteado, encontramos un mercado con grandes oportunidades para el sector maderero donde la competencia se incrementará aún más. Las fábricas productoras de artículos elaborados en madera lucharán por ofrecer los mejores productos de sus galerías, tratando de satisfacer al máximo los requerimientos de sus clientes. Sumado a este evento, debemos tener en cuenta las series de normas y regulaciones dictadas por el Gobierno Nacional en lo que respecta al control y la explotación de nuestros bosques. Se crean distintas regulaciones con el fin de frenar la tala indiscriminada de árboles, la preservación del medio ambiente y el desarrollo autosostenible.

La Fábrica de Muebles H&M Ltda., visionando lo que se avecina, trabaja por optimizar y estandarizar sus procesos de fabricación, mejorar la productividad y la calidad de los diferentes productos lo cual contribuirá a que la empresa se sostenga en un mercado tan competitivo y cambiante como el nuestro.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante realizar un análisis de forma general para poder conocer los procesos que intervienen en la fabricación de muebles hechos en madera. Para identificar y analizarlas posibles causas o causales que generan el aumento de manera progresiva de costos de no conformidad, los cuales en la actualidad están en un promedio de \$8.000.000 de pesos mensuales, afectando de forma directa las utilidades o ganancias de la compañía y además la percepción de calidad de los productos en los clientes.

¿Qué estrategias de mejoras y optimización basadas en las diferentes herramientas de la filosofía de calidad Seis Sigma se pueden implementar para reducir la variabilidad, estandarizar los procesos y disminuir los costos de no conformidad del producto?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Implementar una metodología para la mejora y optimización de los procesos productivos en la Fábrica de Muebles H&M Ltda., basados en el establecimiento de la filosofía de calidad Seis Sigma, con el fin de reducir la variabilidad, estandarizar los procesos y disminuir los costos de no conformidad del producto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar el marco teórico y estado del arte relacionado con la implementación de la filosofía de calidad Seis Sigma.
- Diseñar una metodología para la implementación de la filosofía de calidad Seis Sigma en empresas del sector maderas y muebles.
- Diseñar herramientas estadísticas y de gestión que soporten la implementación de la metodología.
- Validar la metodología a través de su aplicación en la solución de una problemática específica.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Cada día son más las empresas que deciden mejorar y optimizar sus procesos productivos, la calidad de sus productos y/o los servicios ofrecidos; siempre con el fin de satisfacer a sus clientes. Sin duda, esto no es una tarea fácil. La competencia es cada vez mayor y los clientes son más exigentes. En la Fábrica de Muebles H&M Ltda., con el fin de apuntar hacia ese objetivo, se hace necesario el desarrollar una cultura orientada a la mejora continua, a la estandarización de los procesos, a la participación del personal y al trabajo en equipo.

La competitividad que hay en el mercado y el deseo de sobrevivir en él hacen que el análisis y la mejora de los procesos no sea opcional sino imprescindible. Incluso, podríamos decir que hoy, procesos eficaces y eficientes no aportan una ventaja competitiva, pero el no tenerlos es una gran desventaja. De igual forma, mejorar la calidad mediante la eliminación de los problemas, la aplicación de un proceso de mejoramiento continuo, nos da como resultado un aumento en la productividad de la empresa, la satisfacción del cliente y un crecimiento en las finanzas de la empresa.

Es importante tener en cuenta que la implementación de la metodología Seis Sigma en la solución de problemáticas asociadas a la industria del mueble y la creación de herramientas estadísticas y de gestión tendría un gran impacto en las empresas, además de los beneficios que estas obtendrían. Los cuales permitirían a la empresa Fabrica de Muebles H&M Ltda., ser más competitiva y ágil al momento de identificar problemáticas y realizar mejoras a menor tiempo y lograr que estos resultados puedan ser ejemplo para otras empresas del mismo sector.

1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto de grado se realizará en 4 fases:

Fase1. Consiste en definir las generalidades del trabajo o proyecto de grado como el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos; lo cual permite conocer el por qué debe realizarse este proyecto y conocer los logros y mejoras que se desean alcanzar.

Fase 2. Contiene el marco de referencia y estado del arte; es decir, consultar e investigar conceptos básicos de Seis Sigmas, teorías, herramientas, modelos, con el fin de poder explicar y dar a conocer de qué trata la filosofía de calidad Seis Sigma y los beneficios que ésta le generaría a la organización por su implementación.

Fase 3. Consiste en la implementación de la metodología Seis Sigma en la Fábrica de Muebles H&M Ltda., es decir, llevar a cabo el desarrollo de cada una de las etapas de la metodología DMAIC, definición de las variables críticas del proceso, diseñar estrategias de mejoras y optimización.

Fase 4. Radica en la socialización de los resultados obtenidos, conclusiones y sus respectivas recomendaciones; a través del uso y aplicación de una serie de herramientas y métodos los investigadores logran realizar un análisis exacto de la investigación y de esta manera llegar a conclusiones que representen unos resultados bien definidos de acuerdo a los objetivos planteados.

Algunos de los métodos usados son:

1.5.1 Los métodos estadísticos

Estos cumplen una función relevante, ya que contribuyen a determinar la muestra de sujetos a estudiar, tabular los datos empíricos obtenidos y establecer las generalizaciones apropiadas a partir de ellos. En las ciencias sociales, naturales y técnicas no basta con la realización de las mediciones, sino que se hace necesaria la aplicación de diferentes procedimientos que permitan revelar las tendencias, regularidades y las relaciones con el fenómeno objeto de estudio. En este sentido cobran importancia los métodos estadísticos, los más importantes son: los descriptivos e inferenciales.

1.5.1.1 La estadística descriptiva

Permite organizar y clasificar los indicadores cuantitativos obtenidos en la medición, revelándose a través de ellos las propiedades, relaciones y tendencias del fenómeno, que en muchas ocasiones no se perciben de manera inmediata. Las formas más frecuentes de organizar la información es, mediante tablas de distribución de frecuencias, gráficos, y las medidas de tendencia central como: la mediana, la media, la moda y otros.

1.5.1.2 La estadística inferencial

Se emplea en la interpretación y valoración cuantitativa de las magnitudes del fenómeno que se estudia, en este caso se determinan las regularidades y las relaciones cuantitativas entre propiedades sobre la base del cálculo de la probabilidad de ocurrencia. Las técnicas más aplicadas son: prueba de Chi cuadrado, el análisis factorial, la correlación, regresión lineal y otros.

- **Método Descriptivo:** Es el que permite lograr una mejor comprensión de la realidad en la organización.
- **Método Explicativo:** Permite descartar y explorar los factores que inciden en las variables críticas que intervienen en la problemática a estudiar.
- **Método Analítico:** Permite precisar las posibles causas y soluciones de la problemática.

CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1 SEIS SIGMA

Seis Sigma es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocio, la cual se basa en el enfoque hacia el cliente, en el manejo eficiente de datos y metodologías y diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón. Adicionalmente a esto, podemos obtener otros efectos como: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes y efectos dramáticos en el desempeño financiero de la organización.

2.1.1 Antecedentes del enfoque Seis Sigma

2.1.1.1 Autores y sus respectivas teorías clásicas de la calidad:

En el mundo de las empresas, se ha iniciado la revolución de la calidad. Aunque esta preocupación por la calidad es muy antigua, por ahora basta decir que, hoy por hoy, todo negocio quiere tener productos y servicios de calidad, y con ello queremos decir productos y servicios que son superiores a la media, que tienen el nivel de desempeño necesario y son asequibles.

Para algunos autores el significado de la calidad es:

- **Deming.** La calidad es la aplicación de principios y técnicas estadísticas en todas las etapas de producción para lograr una manufactura económica con máxima utilidad del producto por parte del usuario.
- **Armand Feigenbaum.** Establece que la calidad es el total de características compuestas de mercadotecnia, ingeniería, producción, mantenimiento del producto y servicio en su uso, que satisfacen las expectativas del consumidor.
- **Joseph Juran.** Define a la calidad de dos formas:
 1. Rendimiento del producto que da como resultado la satisfacción del cliente.
 2. Libertad de deficiencias en el producto, que evita la falta de satisfacción del cliente.
- **Phillip Crosby:** Cumplir con los requisitos establecidos en las normas.

- **Kaoru Ishikawa:** Aseguramiento de la calidad.

Si observamos, todos hacen referencia a la satisfacción del cliente y a la mejora continua tanto en un bien o servicio, de tal forma que las empresas al lograr esta satisfacción en el cliente pueden alcanzar el éxito en la organización. Por lo anterior, podemos concluir que la calidad es satisfacer las necesidades y/o expectativas del cliente.

Las primeras teorías de la calidad fueron aplicadas en los Estados Unidos, luego de la segunda guerra mundial, estas técnicas fueron llevadas a Japón por medio de los pensadores de la calidad como Edward Deming y Joseph Juran, cuyos principales aportes fueron:

- **W. EDWARD DEMING:**

Es reconocido por su contribución al resurgimiento de Japón después de la guerra. Deming fue a Japón en 1950 y dictó una serie de conferencias sobre técnicas para el control estadístico de procesos, el cual había sido inventado por William Shewhart, amigo de Deming, y otras personas de Bell Laboratories. Irónicamente, pocas empresas fabriles estadounidenses tomaron las teorías de Shewhart en serio. Los conceptos que sustentan el Control Estadístico de los Procesos son muy sencillos y a través de su implementación logró un cambio en la mentalidad administrativa, convirtiendo la calidad en una herramienta estratégica.

EL CONTROL ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS. Deming se destacó por su impulso al uso del control estadístico de procesos para la administración de la calidad; motivó a los administradores a tomar decisiones a través de datos estadísticos y a evitar el sobre control en los procesos; promovió el cambio planeado y sistemático a través del círculo Shewhart, que la gente acabó de llamar círculo de Deming. El control estadístico sugiere una combinación de máquinas, herramientas, métodos, materiales y operadores, que deben actuar en conjunto, a través de una secuencia de acciones, para dar como resultado un producto (bien o servicio) con determinada calidad.

El propósito de usar gráficas estadísticas de la calidad es ofrecer a los trabajadores y gerentes la información que necesitan para corregir los problemas de los procesos que conducen a errores costosos.

Además de las contribuciones antes planteadas de Edward Deming, otro aporte de igual importancia son los catorce puntos de Deming, que buscan mejorar la posición competitiva de las empresas:

1. Ser constantes en el propósito de mejorar el producto o servicio.
2. Adoptar la nueva filosofía de “conciencia de la calidad”.

3. Suprimir la dependencia de la inspección para lograr la calidad.
4. Acabar con la práctica de hacer negocios sobre la base del precio.
5. Mejorar constantemente el sistema de producción y servicio.
6. Instituir la formación en el trabajo.
7. Implantar el liderazgo.
8. Desechar el miedo, de manera que cada uno pueda trabajar con eficacia para la organización.
9. Derribar las barreras entre dependencias.
10. Eliminar las metas numéricas, los carteles y los temas que busquen nuevos niveles de productividad, sin ofrecer métodos que faciliten la consecución de tales metas
11. Eliminar cuotas numéricas prescritas y sustituirlas por el liderazgo.
12. Eliminar las barreras que impiden al empleado gozar de su derecho a estar orgulloso de su trabajo.
13. Implantar un programa vigoroso de educación y automejora.
14. Involucrar a todo el personal de la organización en la lucha por conseguir la transformación.

- JOSEPH M. JURAN:

Más o menos al mismo tiempo, Joseph Juran, también estadounidense, fue a Japón. Juran también había trabajado con William Shewhart y participó en el desarrollo de los conceptos del control estadísticos de los procesos. Algunos líderes de la industria japonesa usaban su libro, *The Quality Control Handbook*, y lo invitaron a Japón en 1954. Aunque las ideas de Juran se parecen a las de Deming, los dos no están de acuerdo en cuanto a la cantidad de cambios que requiere el enfoque de la administración para crear un sistema de calidad total. Deming piensa que el enfoque de la calidad requiere toda una revolución y ofrece una filosofía para dirigir este gran cambio. Por el contrario, Juran piensa que el cambio a la calidad se puede dar de manera muy parecida a otros cambios en la empresa; es decir, usando el marco existente para las decisiones y acciones organizacionales.

Juran dice que la adecuación al uso implica todas aquellas características de un producto que el usuario reconoce que lo benefician. Dentro de los parámetros que nos determinan esta adecuación, están los siguientes:

- **Calidad de conformancia.** Hacer uso de la tecnología requerida, así como de la mano de obra y de la administración necesaria para que las características del producto cumplan con las especificaciones de proceso y diseño.
- **Disponibilidad.** Tiene que ver con el desempeño del producto y su vida útil, ya que este debe proporcionar un servicio en forma continua y confiable. El producto se puede utilizar cuando el cliente lo requiera.
- **Servicio técnico.** El personal encargado del servicio técnico, debe proporcionarlo con velocidad de respuestas, íntegra y competente.

Otra contribución de Juran fue la trilogía de la calidad, la cual está compuesta por tres acciones:

1. **Acciones de control de la calidad.** Los procesos de la calidad pueden ser siempre mejores, siempre y cuando exista un control que nos permita prevenir y corregir errores.
2. **Acciones de mejora de nivel.** Debemos realizar los cambios necesarios en el proceso que nos permita alcanzar mejores niveles de calidad.
3. **Acciones de planeación de calidad.** Es el proceso para alcanzar los objetivos de calidad, de igual forma nos permite integrar los cambios y nuevos diseños de forma permanente a la operación normal del proceso, buscando asegurar no perder lo ganado.

Por último, lo referente a la secuencia universal de mejoramiento. Juran identificó que en un cambio planeado siempre se va a mejorar constantemente, por ello se debe:

- Probar que el cambio es necesario para el bien de todos.
- Justificar los esfuerzos que se apliquen en dicho cambio.
- Elaborar un proyecto que sirva de guía.
- Tomar acciones para implementar la mejora, así como los mecanismos de control para asegurar los nuevos niveles de desempeño.

Otros mentores importantes en la implementación de la calidad fueron:

- **KAORU ISHIKAWA:**

Si bien, las obras de Deming y Juran fueron importante para sistematizar las ideas sobre calidad y para aplicarlas a la reconstrucción de la base industrial de Japón; muchos líderes japoneses también

desempeñaron un papel central. Por ejemplo, Kaoru Ishikawa efectuó una serie de aportaciones muy importantes para Japón, su país natal. Ishikawa es conocido por haber contribuido al surgimiento de los Círculos de Calidad, en los que se reúnen los trabajadores para discutir sugerencias para lograr mejoras. Muchas compañías estadounidenses emprendieron círculos de calidad con la esperanza de emular el éxito fabril de Japón, pero no entendieron que gran parte del éxito de los Círculos de Calidad japoneses se debía a que los gerentes aprendían, con el tiempo, a tomar en serio las sugerencias de los trabajadores y permitían que estas se aplicaran. Muchas empresas de Estados Unidos tampoco reconocieron que los Círculos de Calidad no emergieron sino hasta que los trabajadores y los gerentes habían recibido capacitación para usar los instrumentos y la filosofía de la administración de la calidad.

Otro aporte de Ishikawa fue la importancia dirigida a las actividades de la calidad total concentradas en los clientes. Incluso, llegó a sugerir que la producción de un departamento se entregara a otro departamento, como si se tratara de clientes. Este enfoque fomentaría una comunicación más intensa y una actitud de servicio, de un departamento a otro, en lugar de la actitud burocrática para que el departamento propio luzca bien, pero a expensas de otros.

Kaoru Ishikawa hacía énfasis en los Círculos de Calidad como una herramienta más para el control total de la calidad. Él también establece que a los miembros que participan en los Círculos de Calidad se les enseñen el método estadístico elemental, que es indispensable para el control de calidad y también debe ser usado por todo el personal operativo. Son siete las herramientas que constituyen el método estadístico elemental. Estas son:

- Diagrama de Pareto
- Diagrama Causa efecto
- Estratificación
- Hoja de verificación
- Histograma
- Diagrama de dispersión
- Gráficas y cuadros de control

Así mismo, Ishikawa plantea que el control total de la calidad se logra cuando se consigue una completa revolución conceptual en toda la organización. Esta revolución se expresa en las categorías siguientes

1. **Lo primero es la calidad.** No las utilidades a corto plazo.
2. **La orientación es hacia el consumidor, no hacia el producto.** Pensar desde el punto de vista de los demás.
3. **El siguiente paso en el proceso es su cliente.** Hay que derribar las barreras del seccionalismo. Debemos ver al cliente como un miembro de la empresa, no como alguien ajeno.

4. **Utilización de datos y números como filosofía administrativa.** Empleo de métodos estadísticos.
5. **Respeto a la humanidad como filosofía administrativa.** Administración totalmente participante.
6. **Administración interfuncional.** Trabajo en equipo entre los diferentes departamentos o funciones.

El control de calidad es un sistema de métodos de producción que genera bienes o servicios de calidad, acorde a los requisitos solicitados por el cliente.

- **PHILIP CROSBY:**

Se distinguió por ser un excelente vendedor de los conceptos de calidad total de las empresas. Presidente de su propia empresa de consultoría y del colegio de calidad Winter Park, Florida. Se inició como inspector de calidad y trabajó con la compañía telefónica ITT (Internacional Telephone Telegraph Corp.) como director de calidad y vicepresidente corporativo responsable de la calidad en todas las dependencias de la compañía en todo el mundo.

Dentro de las contribuciones de Crosby encontramos los catorce pasos de la administración de la calidad. Estos pasos son los siguientes:

1. La dirección debe establecer un compromiso con el programa de calidad.
2. Formar equipos de trabajo para mejorar la calidad.
3. Capacitar al personal en los temas de calidad.
4. Establecer mediciones de calidad.
5. Evaluar los costos de calidad.
6. Crear conciencia sobre la calidad.
7. Tomar acciones correctivas.
8. Planificar el “día cero defectos”.
9. Festejar el “día cero defectos”.
10. Establecer metas.

11. Eliminar las causas del error.
12. Dar reconocimiento.
13. Formar consejos de calidad.
14. Repetir todo el proceso.

Otra de los aportes de Crosby son las 6 “C” de la calidad, ya que considera que toda organización que aplica la administración de la calidad atraviesa por estas etapas:

Figura 2. 1 Crosby 6 “C”



2.1.1.2. Evolución histórica de Seis Sigma

- **La revolución de la calidad y la TQM:**
-

Proporciona una visión completa de Seis Sigma en el contexto histórico del desarrollo de la industria y el impacto asociado a la calidad de procesos y productos. En particular, desde 1980, se ha presentado un crecimiento profundo en el uso de métodos estadísticos enfocados a la calidad y a la mejora general de la empresa en los Estados Unidos y en todo el mundo.

Esto ha sido motivado, en parte, por la pérdida generalizada de los negocios y mercados que sufrieron muchas empresas estadounidenses durante la década de 1970. Por ejemplo, la industria automotriz de EE.UU. fue casi destruida por la competencia internacional durante este período. Una empresa de automóviles EE.UU. calculó en 1980 sus pérdidas en casi \$1 millón por hora. La adopción y el uso de métodos estadísticos han jugado un papel central en la competitividad renovada de la industria de los EE.UU. con respecto a la calidad.

Diversos sistemas de gestión también han surgido con el objetivo de mejorar la calidad. Una de ellas es la gestión de la calidad total (TQM), la cual es una estrategia para implementar y gestionar

las actividades de mejora de la calidad sobre la base de toda la organización. TQM se inició en la década de 1980, influenciado por la filosofía de W. Edwards Deming, Joseph Juran, entre otros. Se desarrolló en un espectro más amplio de conceptos e ideas, participación de organizaciones y cultura de trabajo, orientación al cliente, la mejora de la calidad del proveedor, y muchas otras actividades, centrando todos los elementos de la organización en torno al objetivo de mejorar de la calidad.

Algunas de las razones por las cuales el TQM no tuvo mucho éxito son:

- a) El compromiso y participación de la administración.
- b) El uso inadecuado de métodos estadísticos y el poco reconocimiento de la reducción de la variabilidad como un objetivo primordial.

Durante los años 1950 y 1960, los programas como Cero Defectos e Ingeniería de Valor fueron desplegados ampliamente, pero tenían poco impacto real en la calidad y la mejora de la productividad.

Por muchas razones Seis Sigma ha sido más exitosa de lo que fue TQM, la principal de ellas es el fuerte impacto en el campo financiero. Al mejorar la calidad se logra un ahorro real, ampliando oportunidades de venta o mayor satisfacción del cliente y de esta manera se cautiva la atención de la alta dirección.

- Origen de Seis Sigma

La historia de Seis Sigma se inicia en Motorola cuando un ingeniero (Bill Smith) desarrolla el programa Seis Sigmas (1986) como una respuesta a la necesidad de mejorar la calidad y reducir los defectos en sus productos, este comienza a influenciar a la organización para que se estudie la variación en los procesos (enfocado en los conceptos de Deming), como una manera de mejorar los mismos. Esta iniciativa se convirtió en el punto focal del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, capturando la atención del entonces CEO¹ de Motorola: Bob Galvin. Con el apoyo de Galvin, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua, estableciendo como meta obtener 3,4 defectos por millón de oportunidades en los procesos; algo casi cercano a la perfección.

En Motorola, en 1987, todo el mundo estaba orgulloso cuando se alcanzaron las elevadas metas quincenales. Sin embargo, la gerencia de Motorola no estaba satisfecha con el nuevo grado de calidad. Cuando los ejecutivos visitaron algunas plantas electrónicas en Japón se asombraron al

¹**CEO: Director** Ejecutivo, también conocido como ejecutivo delegado, jefe ejecutivo, presidente ejecutivo, principal oficial ejecutivo, es el encargado de máxima autoridad de la gestión y dirección administrativa en una organización o institución.

encontrar que las fábricas japonesas producían grados de calidad 2000 veces superiores a los de las fábricas de Motorola en USA.

La compañía ya había abandonado los aparatos electrónicos de consumo a mano de los japoneses y se estaba concentrando en las aplicaciones industriales. Cuando Motorola vendió su planta de televisores de Chicago a Matsushita en 1974, los defectos eran del orden de 150 por cada 100 televisores producidos. Para 1979, Matsushita registraba solo cuatro defectos por cada 100 televisores, con los mismos trabajadores estadounidenses. Motorola no se podía dar el lujo de perder esa batalla competitiva como resultado de la calidad. La empresa tuvo que reintensificar sus esfuerzos para alcanzar mejor calidad.

En 1987, Galvin impuso una mejora drástica de la calidad: pasar, para 1992, de seis mil defectos por millón a “Seis Sigma”. Seis Sigma define el concepto de llegar, más o menos, a cero defectos (para ser exactos, 3.4 defectos por millón o 99.9997% de manufacturas sin defecto alguno). El primer paso del programa de calidad de “segunda generación” de Motorola fue superar 10 veces la calidad. Galvin implementó un calendario que establecía que habría que mejorar 10 veces la calidad de los productos y los servicios para 1989; mejorarlos, cuando menos, 100 veces para 1991, y después llegar a la meta de Seis Sigma para 1992.

El objetivo del programa de calidad no se limitaba a la meta de llegar a manufacturas con ceros defectos, sino también a la de mejorar todos los niveles de satisfacción de los clientes. Motorola puso nombre a su programa de calidad pensando en su última meta: satisfacción total del cliente (STC). La STC establece la mejora continua en cuanto a precios, entregas, resultados, calidad y experiencia total del cliente. De todas ellas, la calidad es el punto central del programa de la STC de Motorola. Incluye todas las formas de interacción de los clientes y la empresa, por ejemplo, recibir facturas comprensibles y exactas, obtener respuesta rápida para la información o el apoyo técnico solicitado y recibir un trato cortés y profesional de los vendedores –dice Bill Smith, de Motorola.

Motorola estableció un proceso llamado “Lo seis pasos para Seis Sigma” para enfrentarse con los aspectos no fabriles, más subjetivos de la calidad. Los pasos uno y dos consisten en definir qué producto se fabrica y quiénes serán los clientes. El paso tres se refiere a los proveedores que se necesitan para fabricar el producto. En el paso cuatro, los trabajadores hacen mapas del proceso para cumplir con la misión. El paso cinco entra a evaluar el proceso y suprimir los pasos que no agregan valor o las fuentes de errores. Por último, el sexto paso establece los criterios de medición y el impulso para las mejoras continuas.

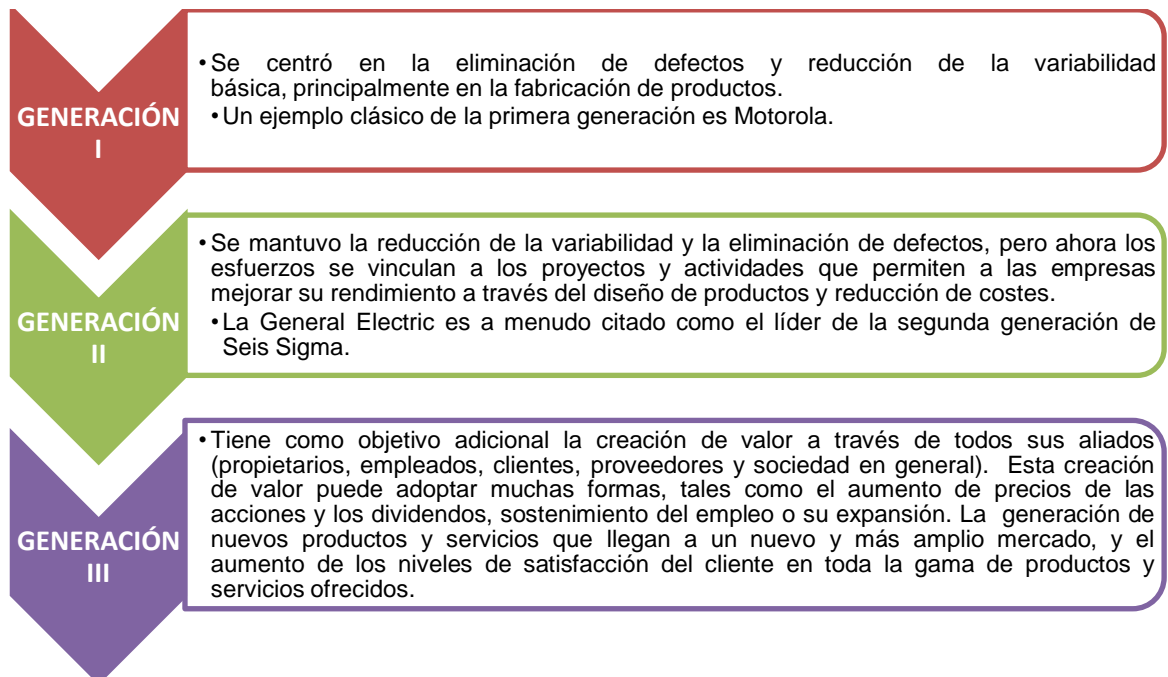
Motorola duplicó sus esfuerzos dirigidos a “incluir la calidad en el diseño” y a mejorar la calidad de los proveedores. Al reconocer que gran parte del éxito de sus actividades para mejorar la calidad dependía de sus proveedores, Motorola implementó el programa de proveedores certificados para mejorar la calidad de los mismos. El programa elimina, virtualmente, la necesidad de inspecciones de calidad de los componentes que se reciben de los proveedores. El hecho de acabar con las inspecciones de los proveedores reduce los costos fijos de Motorola e incrementa su ventaja competitiva. Motorola también requiere que todos sus proveedores persigan el premio a la calidad Malcolm Baldrige.

El personal de ingeniería, producción y mercadotecnia empezaron a trabajar juntos desde el primer día para incluir la calidad en el diseño. Ese proceso de diseño tiene que integrar, cada vez más, lo que opina el cliente y lo que nuestros proveedores nos pueden ofrecer, dice George Fisher, director general, de tal manera, operan dos fuerzas externas importantes y se trata de conseguir que las partes de la empresa trabajen juntas. Ya no se da el caso en que se diseñe un producto y se pueda arrojar por arriba de un muro, con la esperanza de que una organización manufacturera simplemente lo fabrique. Nosotros vinculamos el desarrollo de nuestra tecnología con una profunda comprensión de las necesidades de nuestros clientes.

- Evolución histórica de Seis Sigma

Desde sus orígenes, han existido tres generaciones de implementación de Seis Sigma.

Figura 2. 2. Evolución histórica 6 sigma



2.2 ENFOQUE SEIS SIGMA

2.2.1 Conceptos básicos

¿Qué es Seis Sigma?

- “Seis Sigma es una medición estadística que permite determinar la calidad de los productos y servicios hasta un grado tal en que prácticamente hay cero defectos en lo que suministra la organización”. (Basu & Nevan, 2005).

- “Seis Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca optimizar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; esto lleva a encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, tomando como punto de referencia en todo momento a los clientes y sus necesidades. Esta estrategia se apoya en una metodología altamente sistemática y cuantitativa, orientada a la mejora de la calidad del producto o del proceso”.
- “Seis Sigma es un sistema complejo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios. Seis Sigma funciona especialmente gracias a una comprensión total de las necesidades del cliente, del uso disciplinado del análisis de los hechos y datos, y de la atención constante a la gestión, mejora y reinversión de los procesos empresariales”. (Pande, 2002).
- “Seis Sigma es un enfoque hacia la calidad orientado a resultados y enfocado a proyectos. Es una forma de medir y establecer metas para reducir los defectos en productos o servicios, que se relacionan directamente con los requerimientos de los clientes” (Jay, 2003).
- “Seis Sigma representa una métrica, una filosofía de trabajo y una meta. Como métrica, Seis Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación. Como filosofía de trabajo, Seis Sigma significa mejoramiento continuo de procesos y productos apoyados en la aplicación de la metodología Seis Sigma, la cual incluye principalmente el uso de herramientas estadísticas además de otras más de apoyo. Como meta, un proceso con nivel de calidad Seis Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos”.
- “Seis Sigma es una filosofía de calidad basada en la asignación de metas alcanzables a corto plazo enfocadas a objetivos de largo plazo. Utiliza las metas y los objetivos del cliente para manejar la mejora continua a todos los niveles en cualquier empresa. El objetivo a largo plazo es el de diseñar e implementar procesos más robustos en los que los defectos se miden a niveles de solamente unos pocos por millón de oportunidades. Seis Sigma proporciona medidas que se aplican tanto a las actividades de producción como de servicios: los defectos por millón de oportunidades (DPMO). Al ser una herencia de las filosofías de Deming y Juran, Seis Sigma tiene como principal fundamento el establecer un compromiso con los clientes para ofrecer productos de la más alta calidad a un menor costo”.
- “Seis Sigma es una metodología rigurosa que utiliza herramientas y métodos estadísticos para definir los problemas; tomar datos, es decir, Medir; Analizar la información; emprender mejoras; controlar procesos; rediseñar procesos o productos existentes o hacer nuevos diseños, con la finalidad de alcanzar etapas óptimas, retornando nuevamente a alguna de las otras fases, generando un ciclo de mejora continua”.

Estas definiciones nos llevan a entender que la aplicación de la metodología Seis Sigma es una nueva forma de hacer negocio, es una estrategia con la cual se crea o concibe un modelo de calidad dentro de una organización, haciendo énfasis en la satisfacción del cliente utilizando datos,

metodologías y diseños robustos con el objetivo de ofrecer productos y/o servicios con un nivel de defectos menor o igual 3.4 defectos por millón de oportunidades. Además, con la aplicación de esta metodología se consiguen otras mejoras como son: la reducción de tiempos de producción, reducción de costos, altos niveles de satisfacción al cliente y aumento en los niveles de ingresos de la organización.

Seis Sigma es una evolución de las teorías sobre calidad de más éxito desarrollada después de la segunda guerra mundial. Especialmente puede considerarse precursoras directas de: TQM, Total Quality Management (Administración de la Calidad Total) y SPC, Statistical Process Control (Control Estadístico de Procesos). La metodología incrementa la probabilidad de éxito de cualquier proyecto, siempre y cuando se utilicen una serie de herramientas que Seis Sigma ofrece de manera adecuada. Estas herramientas ayudan a crear un registro de información científica acerca del comportamiento de los procesos.

La metodología Seis Sigma estudia un problema real apoyándose en métodos estadísticos, donde básicamente:

- Se realiza análisis estadístico para identificar las fuentes de variabilidad.
- Se identifican estadísticamente las variables que tienen más influencia en la variabilidad de los procesos.
- Se determinan los niveles de las variables en donde el desempeño es óptimo.
- Al final se monitorean las variables críticas y se mantiene el proceso en control estadístico.

Tomando en cuenta las diferentes fuentes consultadas, podemos determinar que los esfuerzos de Seis Sigma están encaminados a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Reducir los defectos.
- Reducir el tiempo de ciclo.

Para implantar un sistema Seis Sigma es necesario que se establezcan ciertos parámetros de medida, cuyo conjunto aportará el valor sigma del proceso, servicio, etc. El primer paso para calcular el nivel sigma o comprender su significado, es entender qué esperan sus clientes. En la terminología de Seis Sigma, los requerimientos y expectativas de los clientes se llama CTQs (críticos para la Calidad). Cuando se usa la medida de sigma, lo que se hace es observar la calidad de los procesos, y de esta manera poder expresarlos en dicha medida.

Tabla 2.1 Niveles de desempeño en Sigma

Nivel de calidad	DPMO (Defectos por Millón de Oportunidades)	Nivel Sigma
30.90%	690,000	1
69.20%	308,000	2
93.30%	66,800	3
99.40%	6,210	4
99.98%	320	5
99.99%	3,4	6

Fuente. Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

La meta de Seis Sigma es ayudar a los procesos a entregar productos y servicios libres de defectos. Se debe tener en cuenta que dentro de los procesos encontramos defectos que son inherentes al proceso mismo, y un nivel de trabajo correcto del 99.9997% implica un objetivo bastante ambicioso, donde los defectos son casi inexistentes.

La metodología Seis Sigma aplica muchas herramientas estadísticas, sus orígenes están basados en pensadores influyentes de la talla de Deming y Juran. Una de las características de Seis Sigma es que hace énfasis en el entrenamiento y capacitación eficaz del personal involucrado en el proyecto, resaltando la importancia que tiene su trabajo en relación con la satisfacción del cliente. El personal involucrado en el desarrollo del proyecto debe recibir el entrenamiento adecuado sobre las herramientas de calidad y métodos estadísticos. De acuerdo a los niveles de conocimiento y destreza encontraremos los denominados cinturones negros, verdes o amarillos. Estos colores representan un nivel de responsabilidad e intervención dentro del proyecto.

Para comenzar con las actividades en un proyecto Seis Sigma se deben tener en cuenta las siguientes características: El proyecto debe ser ligado a las prioridades del negocio y relacionado con algún parámetro importante para el cliente, debe ser entendible y alcanzable para la organización, contar con el apoyo de la administración y la alta gerencia, tener un impacto financiero y el establecimiento de métricas que puedan ser utilizada para fijar metas al proyecto. Para garantizar la viabilidad en un proyecto Seis Sigma se requiere un análisis desde tres puntos de vista: técnico, financiero, y económico. El primero se ocupa del riesgo de imaginar una solución factible; el segundo considera la disponibilidad de recursos financieros necesarios para invertir en el proyecto; y el tercero se ocupa del análisis de costos y beneficios del proyecto.

2.2.2 Enfoque al cliente

Las diferentes organizaciones enfrentan muchos desafíos y expectativas; la tecnología se ha convertido en una fuerza impulsora en todas las decisiones. Los avances tecnológicos obligan a las

empresas a adaptarse rápidamente a una nueva forma de hacer negocios. La rapidez con que se da el cambio en el mundo de los negocios ha hecho que se les confiera poder a los gerentes de nivel funcional al momento de tomar decisiones, las cuales ayuden a sus empresas a tomar una ventaja competitiva en un mercado digitalizado con una evolución acelerada.

En este medio, es importante que todas las dependencias de una empresa tengan un enfoque al cliente; este enfoque se debe reflejar en todas las actividades que los trabajadores ejecutan a diario, sin importar el área donde laboran.

Hay empresas que adoptan un enfoque dirigido al cliente, haciendo énfasis en el servicio. El servicio al cliente lo orientan en ofrecer productos con cero defectos en la manufactura. La meta de la calidad del servicio es tratar a cada cliente como trataríamos a un invitado a nuestra casa, buscar la relación de persona a persona perfecta y la mejora continua. La satisfacción al cliente se ve representada en la sensación de que un producto o servicio cumple o excede las expectativas del cliente. Es tan importante mantener satisfecho a los actuales clientes como atraer nuevos clientes, a la vez es menos costoso.

Las empresas que se preocupan por tener altos niveles de satisfacción al cliente, siempre hacen algo distinto a lo que normalmente hacen sus competidores. Los empleados de toda la organización deben entender el enlace que hay entre su trabajo y los clientes, más que vender productos.

Con el enfoque al cliente se examinan los diferentes métodos que utiliza una organización para entender las voces del cliente. Examinar cómo se entablan las relaciones con el cliente, y de qué manera se determinan los factores críticos que llevan a la adquisición, satisfacción y retención de clientes, y al crecimiento del negocio.

Cuando se habla de la relación con el cliente y satisfacción del mismo, lo que se hace es analizar los diferentes procesos que utiliza la organización para entablar relaciones con sus clientes y determinar su satisfacción con los servicios. La meta es conquistar nuevos clientes, retener a los actuales y desarrollar nuevas oportunidades de negocio.

La importancia de lograr la satisfacción del cliente es un tributo importante de una implementación Seis Sigma. Fenómenos importantes del mercado que se aplican a los consumidores y productos industriales son (Goodman, 1991):

- La mayoría de los clientes, no se quejan si existe un problema (50% encuentra un problema, pero no se quejan; un 45% se quejan en el nivel local, el 5% se queja con la alta dirección).
- Palabra de boca en boca, el comportamiento es importante. Si un gran problema se resolvió, el cliente satisfecho le comentará alrededor de 8 personas sobre su experiencia; si el cliente no está satisfecho con la resolución, le comentará alrededor de 16 personas.

Estas realidades de los negocios permiten que sea importante hacer frente a la satisfacción del cliente, junto con la retención y lealtad del cliente. Un cálculo para el desarrollo económico y el valor de un cliente leal es la combinación de las proyecciones de ingresos con los gastos durante la vida útil esperada de las compras repetidas. La economía del mundo es calculada como el valor actual neto (VAN) del flujo de caja neto (beneficios) durante el período de tiempo. Este VAN, es el valor expresado en dinero de los beneficios a través del tiempo.

Esta evaluación puede dar lugar a oportunidades de mejora que se traducen en proyectos Seis Sigma.

Figura 2. 3. Estrategia para enfoque al cliente



Fuente. Quintero, Mario. Enfoque al cliente. QAV-Consultores Asociados. Consultores en Finanzas y productividad. Material de Entrenamiento de equipo Seis Sigma.

La Voz Del Cliente y Seis Sigma

La voz del cliente (COV) se inició como parte de Seis Sigma, una disciplina integral para eliminar defectos en cualquier proceso, originalmente para la ingeniería de fabricación y producción, y luego se extendió al diseño de producto y servicio al cliente. La metodología Seis Sigma, DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y de control), es un proceso paso a paso para la eliminación de tales defectos.

Para Seis Sigma entender las necesidades y percepciones del cliente es clave para definir y corregir cualquier defecto o hacer frente a cualquier problema. En Seis Sigma, COV es una herramienta que se utiliza en cada paso del proceso DMAIC, como se muestra en la siguiente tabla 2.2.

Tabla 2.2 Pasos en el proceso DMAIC

PASOS EN EL PROCESO DMAIC	PAPEL DE LA VOZ DEL CLIENTE
DEFINIR	<ul style="list-style-type: none"> • Definir el problema o necesidad de mejora desde el punto de vista de clientes. • Identificar las necesidades de los clientes.
MEDIR	<ul style="list-style-type: none"> • Medir la satisfacción del cliente y las percepciones de los atributos. • Establecer líneas de base de rendimiento
ANALIZAR	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificar requerimientos del cliente • Vincular los datos operativos con los datos de COV.
MEJORAR	<ul style="list-style-type: none"> • Priorizar las áreas de mejora. • Seleccionar las acciones clave para la mejora.
CONTROLAR	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento de la satisfacción y la percepción sobre una base en curso.

COV es sólo una de varias "voces" que Seis Sigma hoy incorpora, entre ellos la voz de la experiencia o de los empleados (VOE) y la voz del mercado (VOM).

Retroalimentación Del Clientes

Tanto el cliente interno como el externo se caracterizan por sus necesidades específicas. Los clientes internos precisan de un programa sobre los pasos previos dentro del proceso. Los pasos previos programados son los que dan lugar al cliente interno de realizar su trabajo correctamente; por su parte el cliente externo es quién adquiere y da uso al producto o servicio.

La persistente retroalimentación negativa de un cliente sobre un producto, ya sea usuario interno o externo, es una significativa fuente de información acerca de la funcionalidad de un proceso. Las quejas de clientes señalan un problema en alguna parte del proceso de desarrollo, fabricación o envío al usuario. La retroalimentación negativa es un indicador para examinar de qué parte del proceso precede a la queja. Oportunidades para mejorar son descubiertas cuando mejor se comprenden las necesidades de los clientes internos y externos, y en qué medida estas necesidades son cubiertas. El “Black Belts” debe chequear los mecanismos reales empleados para cubrir las peticiones de los clientes y asegurarse cómo la información llega a los Centros de Información para su resolución.

Realizar un buen proceso de feedback o retroalimentación con el cliente ofrece mayores garantías para que éste permanezca fiel.

2.2.3 Métricas de Seis Sigma

Calidad Seis Sigma o procesos Seis Sigma es un concepto en el cual se plantea el empeño u objetivo por parte de las organizaciones de lograr una calidad estándar en todos sus procesos. Minimizar el número de defectos.

Índice Z:

El índice Z es una de la métrica utilizada para medir la capacidad de un proceso, el cual consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media μ del proceso en unidades de desviación estándar, σ . De esta manera, para un proceso con doble especificación se tiene un Z superior, Z_s , y un Z inferior, Z_i , los cuales se definen de la siguiente manera:

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma} \quad y \quad Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma}$$

La capacidad de un proceso medido en términos de Z, será el mínimo valor entre Z_s y Z_i , es decir:

$$Z = \text{mínimo} [Z_s, Z_i]$$

Cuando se toman los índices de corto y largo plazo, la diferencia entre ellos se conoce como desplazamiento o movimiento del proceso y se mide a través del índice Z_m de la siguiente manera:

$$Z_m = Z_c - Z_L$$

El índice Z_m representa la habilidad para controlar el proceso. De acuerdo a estudios realizados, ponen de manifiesto que la media de un proceso se puede desplazar a través del tiempo hasta 1.5 sigmas en promedio a cualquier lado de su valor actual.

Métricas Seis Sigma para atributos (DPMO)

El índice Z se emplea como métrica en Seis Sigma cuando la característica de calidad es de tipo continuo; sin embargo, muchas características de calidad son de atributos. Para nuestro caso, utilizaremos las métricas para atributos y entre ellas tenemos la métrica DPMO (Defectos Por Millón de Oportunidades de error).

Al momento de elaborar un producto o una unidad, existe la posibilidad de presentarse no conformidades, hay más de una oportunidad de cometer un error. En general, se define como oportunidad de error cualquier parte de la unidad que es posible medirse o probarse si es adecuada o no, saber si cumple con la calidad especificada de un producto.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, encontramos el índice DPU (Defectos Por Unidad). Este procedimiento está diseñado para estimar la media del número de defectos por unidad en una muestra de artículos de una población determinada. El DPU es una métrica que determina el nivel de no calidad de un proceso, el cual no toma en cuenta las oportunidades de error que pueden presentarse en cada unidad, se obtiene de la siguiente manera:

$$DPU = \frac{d}{U}$$

Donde U es el número de unidades inspeccionadas en las cuales se observaron d defectos en un lapso de tiempo determinado.

Teniendo en cuenta la complejidad de la unidad o del producto se utiliza el índice de DPO (defectos por oportunidad), ya que no es lo mismo tener un $DPU = 0.03$ en un producto o una unidad que presente mayor posibilidad de presentar no conformidades o errores que tener el mismo DPO en un producto o unidad que presente menor oportunidad de cometer un error. El DPO mide la no calidad de un proceso y toma en cuenta las oportunidades de error que se pueden dar en una unidad o producto, se halla de la siguiente forma:

$$DPO = \frac{d}{U * O}$$

Donde U , es el número de unidades inspeccionadas en las cuales se observaron d defectos en un lapso de tiempo determinado, y O es el número de oportunidades de error por unidad.

Para entender un poco mejor el índice de la métrica DPO, es mejor obtener el índice DPMO (Defectos por millón de oportunidad), el cual cuantifica los defectos del proceso en un millón de oportunidades de error, se obtiene al multiplicar al DPO por un millón:

$$DPMO = DPO * 1.000.000$$

DPU frente a PPM y el nivel de sigmas

Es importante aclarar que tanto la métrica DPU como la DPMO se refieren a variables para atributos más cercanos a variables con distribución Poisson, donde una pieza puede tener más de un defecto y no necesariamente debe rechazarse. En cambio, PPM se aplica cuando la parte cumple o

no cumple (pasa o no pasa), y aquí más bien se aplica la distribución binomial y su aproximación a la normal.

Para saber cuál es el nivel de sigma correspondiente a un proceso, lo primero que se hace es calcular el rendimiento Y del proceso mediante la distribución de Poisson² con la siguiente fórmula:

$$Y = e^{-DPU}$$

De esta ecuación también se aprecia que:

$$DPU = -\ln(Y)$$

El cual nos muestra la probabilidad de que una unidad esté libre de defectos. Para convertir esto al nivel de sigma de largo plazo es preciso encontrar el valor de Z en una tabla de distribución normal estándar que da una probabilidad acumulada igual a Y , es decir, el nivel de sigma de largo plazo para el proceso = Z_Y , donde:

$$P(Z < Z_Y) = Y \quad \text{o} \quad P(Z > Z_Y) = 1 - Y$$

2.2.4 impacto en la organización (costos, defectos, productividad y competitividad)

En la sociedad actual, el paradigma de la calidad se ha convertido en uno de los principales elementos diferenciadores entre organizaciones, empresas o entidades. Dentro de los objetivos que se fijan las organizaciones, la calidad es fundamental en el camino hacia el éxito, entendida ésta como productos o servicios libres de defectos y la satisfacción de todos los protagonistas del negocio: clientes, trabajadores, empresas y sociedad. Entre las diferentes iniciativas y modelos de calidad total, el movimiento Seis Sigma está alcanzando un nivel de mayor importancia en los últimos años.

Las empresas de todos los tipos y tamaños se encuentran en medio de una revolución del ámbito de la calidad. Cualquier empresa sea pública o privada dedicada tanto a la generación de bienes, servicios y/o comerciales que estén plenamente comprometidas con optimizar el nivel de

²El rendimiento puede verse como probabilidad de que la distribución caiga dentro de tolerancias o especificaciones. Aplicar la distribución Poisson equivale a la probabilidad de ceros fallas, es decir:

$$Y = P(x = 0) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} = e^{-\lambda} = e^{-DPU}$$

Donde λ es el número de promedio de defectos, que es justo lo que estima DPU

satisfacción del cliente y la mejora continua, pueden ser objeto de aplicación de la metodología Seis Sigma.

Implementar Seis Sigma en la cultura corporativa mejora procesos, maximiza el rendimiento de negocios y aumenta los beneficios económicos. Mejor aún es el resultado final: una enorme ventaja competitiva para cualquier empresa en el mercado.

Lo que hace que Seis Sigma funcione es un entrenamiento acertado y un compromiso de implantar e integrar Seis Sigma en toda la organización. Los resultados y mejoras alcanzados en el proceso de aplicación de la metodología Seis Sigma pueden ascender a altas cantidades monetarias u otros índices como:

- Mejoramiento de la satisfacción del cliente.
- Aumento de la productividad y valor agregado.
- Aumento de capacidad y fabricación de productos.
- Reducción de defectos totales y de tiempos de ciclos.
- Aumento de confiabilidad de producto.
- Mejoramiento de flujo de procesos.
- Incremento en el retorno de la inversión.

2.3 MODELOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SEIS SIGMA

Seis Sigma, es una metodología que utiliza herramientas y métodos estadísticos para identificar y definir los problemas que se presentan en un determinado proceso y las diferentes situaciones a optimizar. Mejorar los procesos y controlar o rediseñar los productos o procesos existentes, con el fin de alcanzar etapas recomendables que generen a su vez una mejora continua. Este método es llevado a la práctica por grupos especialmente formados con el fin de dar solución a los diversos problemas o a la consecución de objetivos propuestos por la compañía. La respuesta a esta necesidad en Seis Sigma es el proceso DMAIC y DFSS.

2.3.1 DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)

Es un acrónimo (por sus siglas en inglés: Define, Measure, Analyze, Improve, Control) de las fases de la metodología: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Es un proceso estructurado para la resolución de problemas ampliamente utilizado en calidad y en la mejora de procesos. Cada fase de la metodología se enfoca en obtener los mejores resultados posibles para minimizar la

posibilidad de error. La herramienta es una estrategia de calidad basada en estadística, que da mucha importancia a la recolección de información y a la veracidad de los datos como base de una mejora.

La estructura DMAIC, estimula el pensamiento creativo sobre el problema y su solución dentro de la definición del producto original, proceso o servicio. Una de las razones por las que DMAIC tiene tanto éxito es que se centra en el uso efectivo de herramientas estadísticas. La Tabla 2.3, muestra las herramientas más prominentes, junto con los pasos DMAIC donde son más susceptibles de ser utilizados.

Tabla 2.3 Herramientas Estadísticas Básicas del Proceso DMAIC

HERRAMIENTAS	DEFINIR	MEDIR	ANALIZAR	MEJORAR	CONTROLAR
Carta del proyecto	X				
Los mapas de procesos y diagramas de flujo	X	X			
Causa y análisis de los efectos		X			
Proceso de análisis de capacidad		X			
Las pruebas de Hipótesis, intervalos de confianza			X		
El análisis de regresión, otros métodos multivariantes			X		
Medidor de R & R		X			
Modo y el análisis de los efectos			X		
Experimentos diseñados			X	X	
SPC y los planes de control de procesos		X	X		X

Fuente. Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

A continuación se definen las 5 fases de la metodología DMAIC que se aplica en un proyecto Seis Sigma:

Figura 2.4 Proceso DMAIC

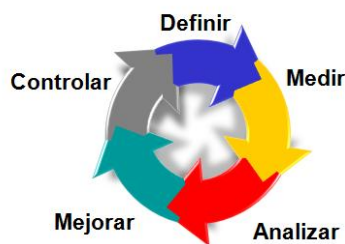


Tabla 2.4 Las 5 Fases de la Metodología DMAIC

LAS 5 FASES DE LA METODOLOGÍA DMAIC QUE SE APLICA EN UN PROYECTO SEIS SIGMA		
FASES	OBJETIVOS	HERRAMIENTAS USADAS
DEFINIR	<ul style="list-style-type: none"> - Se da a conocer cada proceso, las personas que laboran. - Conocer quiénes son los clientes, qué esperan y cuáles son los medios de comunicación. - Selección de proyectos encaminados a satisfacer a los clientes, de acuerdo a la estrategia corporativa. - Identificar las variables del proceso. - Se debe tener claro el objetivo del proyecto, la forma de medir su éxito, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en este. 	<ul style="list-style-type: none"> - SIPOC - Mapa de proceso - Matriz causa y efecto - FMEA
MEDIR	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer como se mide el proceso. - Verificar si las mediciones son confiables. - Garantizar que se cuenta con un sistema de medición adecuado. - Conocer la capacidad inicial del producto/proceso. - Establecer con mayor detalle las métricas con las que se evaluará el éxito del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de los sistemas de medición. - Desempeño actual del proceso. - Capacidad potencial del proceso. - Cálculo de Cp, Cpk, Pp, Ppk, Z, DPMO.
ANALIZAR	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar la importancia de los factores que afectan el proceso. - Filtrar causas potenciales. - Identificar los factores que permiten lograr una mejora sustancial y lograr un mejor desempeño del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis Multivariado. - Correlación y Regresión. - Prueba de Hipótesis. - ANOVA. - Pruebas de chi Cuadrada. - Lluvia de ideas. - Diagrama de Ishikawa. - Diagrama de Pareto de segundo nivel. - Cartas de control. - Mapeo de procesos.
MEJORAR	<ul style="list-style-type: none"> - Descubrir cuál es la relación entre las variables críticas que afectan al producto/proceso. - Se definen que factores se van a controlar para medir el efecto sobre las características críticas. - Identificar las condiciones óptimas de operación. - El objetivo es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíces. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de experimentos. - Superficie de respuesta. - Regresión Múltiple. - Regresión logística binaria. - Lluvia de ideas. - Hojas de verificación - Poka-Yoke.

CONTROLAR

- Documentar el resultado de la mejora
- Diseñar herramientas para monitorear el proceso.
- Hacer que las ganancias se mantengan.
- Dar cumplimiento al sistema de calidad.
- Cierre de proyectos.
- 5S.
- Planes de control.
- Procedimiento de operación.
- Control estadístico de procesos.
- Poka-Yoke.

Fuente. Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

2.3.2 Diseño para seis Sigma (DFSS)

Es una aplicación de los principios Seis Sigma al diseño de productos y a sus procesos de soporte y manufactura. Mientras Seis Sigma por definición se centra en la producción de fases para un producto, DFSS se basa en la investigación, diseño y desarrollo de las fases. DFSS combina muchas de las herramientas utilizadas para mejorar productos o servicios existentes e integra la voz del cliente en la simulación de métodos para predecir nuevos procesos y rendimiento del producto.

El diseño para Seis Sigma es un enfoque utilizado para el desarrollo de productos, el cual se concentra en la entrega del producto correcto en el momento oportuno y al precio adecuado. El DFSS es una compleja metodología de análisis de ingeniería de los sistemas, que se mejora mediante los métodos estadísticos para optimizar los procesos de diseño tradicionales. Se enfoca hacia la optimización del CPC (Árbol Crítico para la Calidad) para el desempeño de productos y sistemas Seis Sigma equilibrando el costo, la programación y la calidad. Algunas características de DFSS son las siguientes:

- Una perspectiva arquitectónica del diseño de alto nivel.
- Uso de CPC con requisitos técnicos bien definidos.
- Aplicación de modelado estadístico y enfoques de simulación.
- Predicción de los defectos, evitar los defectos y proyectar el desempeño utilizando métodos de análisis.
- Examinar todo el rango del desempeño de los productos utilizando el análisis de variación de subsistemas y componentes.

El propósito es desarrollar un conjunto de críticas a los requisitos de calidad del producto o servicio. Tradicionalmente, DMAIC se utiliza para alcanzar la excelencia operacional, mientras que el DFSS se centra en la mejora de los resultados de negocio mediante el aumento de los ingresos por ventas generados por nuevos productos y servicios y la búsqueda de nuevas oportunidades de aplicación de las ya existentes. El DFSS se centró en el aumento del valor en la organización.

Muchas de las herramientas estadísticas que se utilizan en el DMAIC también se utilizan en DFSS: Experimentos diseñados son particularmente útiles, la experimentación con prototipos y modelos de computadora es un área donde los estadísticos pueden hacer contribuciones útiles a DFSS. En consideración para resolver los conflictos. Durante todo el proceso DFSS, es importante tener en cuenta los siguientes interrogantes:

¿Es el concepto de producto bien identificado?

¿Son los clientes reales?

¿Los clientes compran este producto?

¿Puede la compañía hacer este producto a un precio competitivo?

¿Son los rendimientos financieros aceptables?

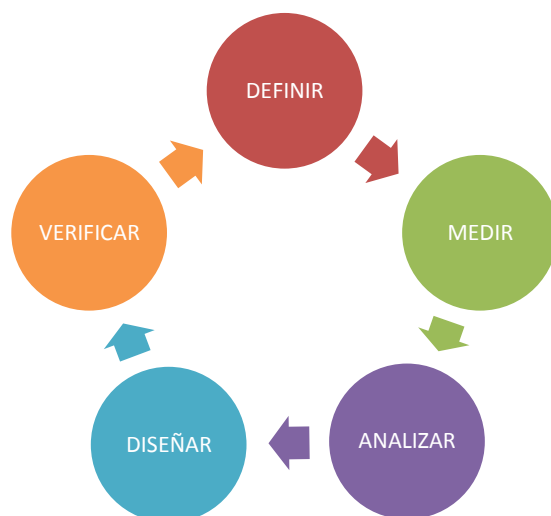
¿Este producto encaja con la estrategia general del negocio?

¿Es la evaluación del riesgo aceptable?

¿Puede la compañía mejorar este producto con respecto a la competencia?

En general, DFSS concreta el reconocimiento que cada decisión que se tome del diseño, es una decisión empresarial, y que el costo, la fabricación, y rendimiento del producto se determina durante el diseño.

Figura 2.5 Proceso DFSS



FASE 1: DEFINIR:

Establece el proyecto como una iniciativa de la organización por solucionar un problema que se encuentra claramente definido y que amerita su solución.

En esta fase se definirán los objetivos del proyecto y la de los clientes, ¿Qué se está diseñando? ¿Por qué se está diseñando? Todo esto con el fin de asegurar que las metas son consecuentes con las demandas del cliente y la estrategia de la empresa.

FASE 2: MEDIR:

Identifica los requisitos de los clientes, focalizando las características críticas para la calidad, se valora su rendimiento y se evalúa el riesgo; para esto se soporta por herramientas como el benchmarking, AMEF (Análisis modo de fallos y efectos del proceso) y QFD (Quality Functional Deployment). Mide la información del cliente para determinar lo que es crítico para la calidad desde la perspectiva de los clientes.

FASE 3: ANALIZAR:

Analizar los conceptos innovadores de productos y servicios para crear valor para el cliente y seleccionar un diseño de alto nivel de varios diseños alternativos y evaluar la capacidad del diseño seleccionado.

FASE 4: DISEÑAR:

Diseño de nuevos procesos, productos y servicios para entregar valor al cliente. Optimiza los parámetros de diseño a nivel de detalle, planifica pruebas de verificación y revisa que el nuevo diseño esté cumpliendo con los objetivos propuestos.

FASE 5: VERIFICAR:

Verifica que los nuevos sistemas estén funcionando como se espera. Crea mecanismos para asegurar el rendimiento óptimo continuo. En esta última fase se ejecutan pruebas piloto y análisis de los resultados, implanta el proceso de producción y se realizan las actividades para una transferencia del proceso a los responsables.

2.4 HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA SEIS SIGMA

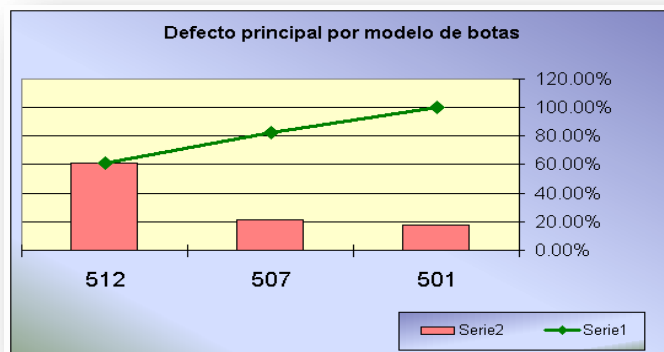
Las Herramientas más comúnmente utilizadas son: Diagrama de Pareto, Estratificación, Hoja de Verificación, Diagrama de Causa-Efecto (diagrama de Ishikawa), Lluvia de ideas y Diagrama de Dispersión, además de otras herramientas de particular utilidad en Seis Sigma.

2.4.1 Diagrama de Pareto

Se reconoce que más de 80% de la problemática en una organización es por causas comunes, es decir, se debe a problemas o situaciones que actúan de manera permanente sobre los procesos.

Para mostrar dicho comportamiento se emplea una herramienta básica llamada Diagrama de Pareto, cuya viabilidad y utilidad general está respaldada por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” o “Pocos vitales, muchos triviales”, en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco el efecto total. El nombre del principio se determinó en honor al economista italiano Wilfredo Pareto (1843-1923).

Figura 2.6 Ejemplo de Diagrama de Pareto



Fuente. Pillco Suarez Xavier Armando. Diagrama de Pareto. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

2.4.2 Estratificación

Esta herramienta es utilizada para identificar causas claves de los problemas vitales evidenciados por el Diagrama de Pareto. Estratificar es analizar problemas, fallas, quejas, o datos, clasificándolos o agrupándolos de acuerdo con los factores que se creen pueden influir en la magnitud de los mismos, a fin de localizar las mejores pistas para resolver los problemas de un proceso.

La estratificación es una poderosa estrategia de búsqueda que facilita entender cómo influyen los diversos factores o variantes que intervienen en una situación problemática, de forma que sea posible localizar diferencias, prioridades y pistas que permitan profundizar en la búsqueda de las verdaderas causas de un problema.

2.4.3 Hoja de verificación (obtención de datos)

La hoja de verificación es un formato construido para obtener datos, de forma que su registro sea sencillo, sistemático y que sea fácil de analizarlos.

La finalidad de la hoja de verificación es fortalecer el análisis y la medición del desempeño de los diferentes procesos de la empresa, a fin de contar con información que permita orientar esfuerzos, actuar y decidir objetivamente; esto es de suma importancia, ya que en ocasiones algunas áreas o empresas no cuentan con datos ni información que corresponda al caso en estudio.

2.4.4 Diagrama de Ishikawa o de causa-efecto

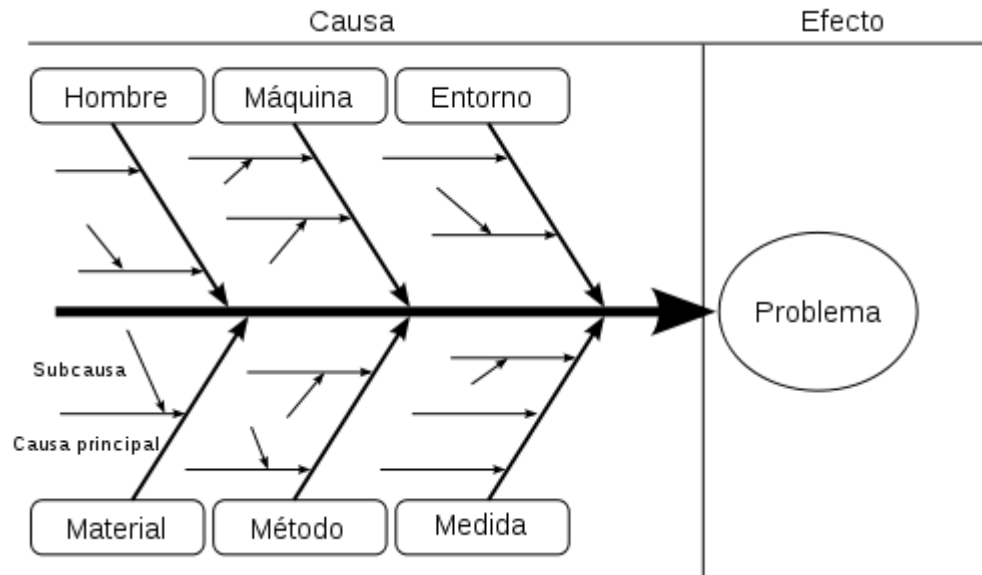
El diagrama de causa-efecto o de Ishikawa es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que generan el problema, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas.

Existen tres tipos básicos de diagrama de Ishikawa, los cuales dependen de cómo se buscan y se organizan las causas en la gráfica:

-Método de las 6 M:

El método de las 6 M es el más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales (6M): Métodos de trabajo, Mano de obra (Hombre), Materiales, Maquinaria, Medida y Medio Ambiente (Entorno). Estos seis elementos definen de manera global todo el proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad del producto final, por lo que es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las 6 M.

Figura 2.7 Diagrama de Ishikawa Método 6M



Fuente: <http://herramientasytecnicas.blogspot.com/2010/06/diagrama-causa-efecto-diagrama-de.html>

- Método tipo de flujo de proceso:

En este método, la línea principal del diagrama de Ishikawa sigue la secuencia normal del proceso de producción o de administración. Los factores que pueden afectar las características de calidad se agregan en el orden que le corresponde, según el proceso, para ello se realiza la siguiente pregunta: ¿Qué factor o situación en esta parte del proceso puede tener un efecto sobre el problema especificado? Este método permite explorar formas alternativas de trabajo, detectar cuellos de botella, descubrir problemas ocultos, etc.

- Método de estratificación o enumeración de causas:

La idea de este método de estratificación de construcción del diagrama de Ishikawa es ir directamente a las principales causas potenciales, pero sin agrupar de acuerdo a las 6 M. La selección de estas causas muchas veces se hace a través de una sesión de lluvia de ideas. Con el objetivo de atacar causas reales y no consecuencias o reflejos, es importante preguntarse un mínimo de cinco veces el porqué del problema, a fin de profundizar en la búsqueda de las causas. La construcción del diagrama de Ishikawa partirá de este análisis previo, con lo que el abanico de búsqueda será más reducido y es probable que los resultados sean más positivos. Esta manera de construir el diagrama de Ishikawa es natural cuando las categorías de las causas potenciales no necesariamente coinciden con las 6 M.

El método de estratificación contrasta con el método de las 6 M, ya que en este último va de lo general a lo particular, mientras que en el primero se va directamente a las causas potenciales del problema.

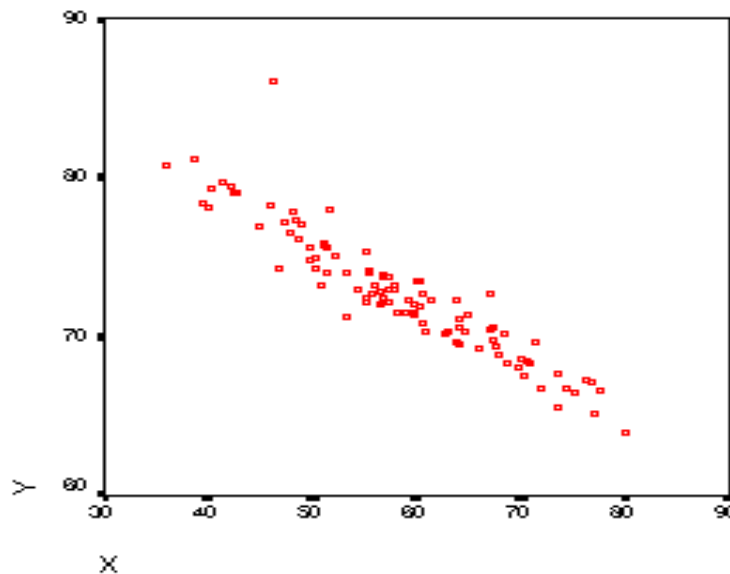
2.4.5 Lluvia de ideas

Es una forma de pensamiento creativo encaminado a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo, ya que permite la reflexión y el diálogo con respecto a un problema en términos de igualdad.

2.4.6 Diagrama de dispersión

El diagrama de dispersión es una gráfica del tipo X-Y, donde cada elemento de la muestra es representado mediante un par de valores (x_i, y_i) y el punto correspondiente en el plano cartesiano X-Y. El objetivo de esta gráfica es analizar la forma en que estas dos variables están relacionadas.

Figura 2.8 Diagrama de Dispersión



Fuente. <http://diposit.ub.edu/dspace/html/2445/2921/cuestionari.html>

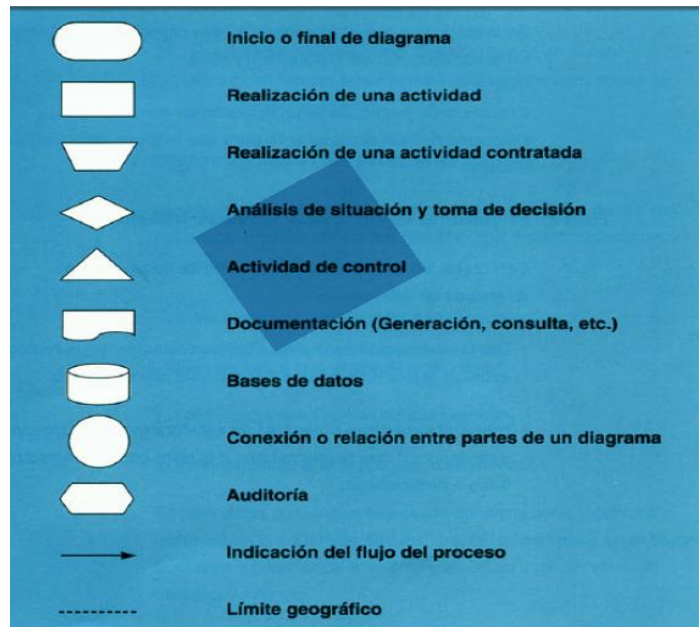
2.4.7 Diagramas de procesos

Encontramos los siguientes: El diagrama de flujo de procesos, el diagrama PEPSU (SIPOC) y el mapeo de procesos, los cuales son de gran utilidad para entender y describir los procesos.

-Diagrama de flujo de proceso:

Es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso, que incluye transportes, inspecciones, esperas, almacenamiento y actividades de retrabajos o reprocesos. Por medio de este diagrama es posible ver en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; así mismo, es de utilidad para analizar y mejorar el proceso.

Figura 2.9 Símbolos para la construcción de un diagrama de flujo

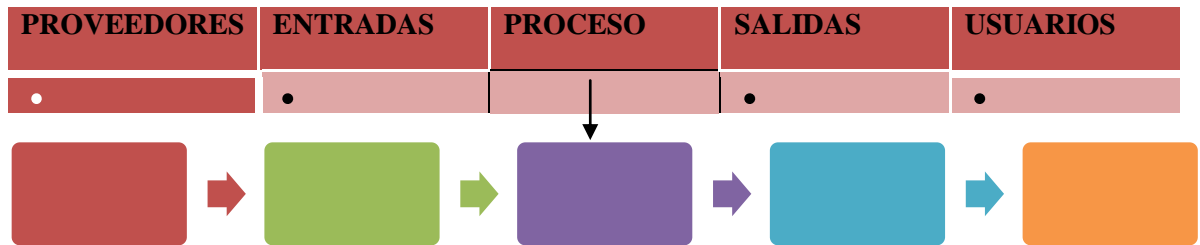


Fuente. www.fundibeq.org

-Diagrama PEPSU (SIPOC):

Este diagrama de procesos tiene el objetivo de analizar el proceso y su entorno. Para ello se identifican los proveedores (P), las entradas (E), el proceso mismo (P), las salidas (S) y los usuarios (U). El acrónimo en inglés de este diagrama es SIPOC (suppliers, inputs, process, output and customers).

Tabla 2.5 Diagrama PEPSU



-Mapeo de proceso:

El Mapeo de Procesos tiene como principal función realizar un diagrama de flujo más aterrizado a la realidad, en donde se especifiquen las actividades que efectivamente se realizan en el proceso (actividades principales, inspecciones, esperas, transportes, reprocesos, entre otros).

Además, un proceso puede irse desde un nivel alto hasta uno micro. En el primer caso no se entra en detalles y de lo que se trata es de tener una visión macro del proceso, que muchas veces es útil para delimitarlo e iniciar el análisis del mismo. En cambio, en un nivel micro es posible analizar de manera minuciosa una parte del proceso, y quizá se especifiquen uno o varios de los siguientes detalles:

- Las principales variables de salida y entrada de cada etapa del proceso.
- Los pasos que agregan y los que no agregan valor en el proceso.
- Listar y clasificar las entradas clave en cada paso del proceso. La clasificación se puede hacer con los siguientes criterios: crítico (*), controlable (o) y de ruido (□).
- Añadir las especificaciones de operaciones actuales, así como los objetivos de proceso para las entradas controlables y críticas.

2.4.8 Despliegue de la función de calidad DFC (Quality Function Deployment, QFD)

Es una herramienta en la cual se refleja la perspectiva del cliente, utilizando varias matrices, cuyo propósito es establecer una manera sistemática de asignar responsabilidades para desplegar la voz del cliente a fin de trasladar estos requerimientos en parámetros de diseño y fabricación (o en actividades específicas). Así, el papel de DFC, es ayudar a entender las necesidades del cliente y transformarlas en acciones específicas, identificar áreas que requieren atención y mejoramiento, establecer las bases para futuros desarrollos. La aplicación formal de esta técnica fue llevada a cabo por primera vez en Japón (1972) en Mitsubishi, por Kobe Shipyard.

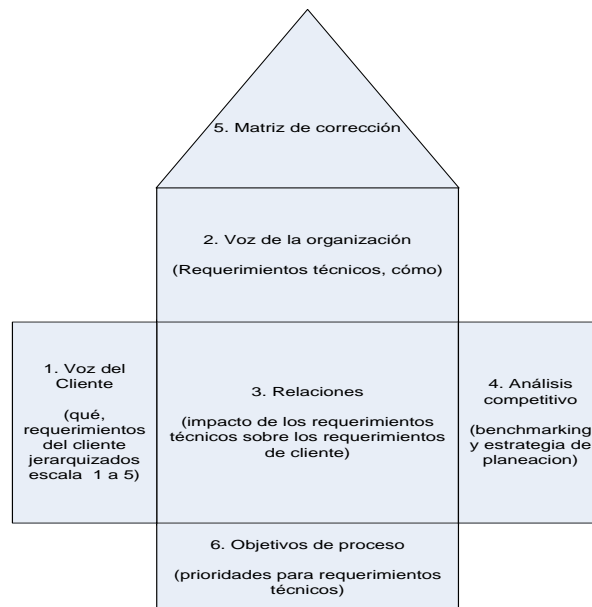
Entender los requerimientos del cliente es fundamental, pero el problema es que éste se expresa en un lenguaje y las características de un producto o proceso en uno diferente; por ello, se requiere una traducción hasta llegar al requerimiento para un proceso. Como se ilustra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Requerimiento para un proceso

CASO	VOZ DEL CLIENTE	ASUNTO CLAVE	REQUERIMIENTO

El DFC empieza con una lista de objetivo o qué, en el contexto del desarrollo de un nuevo producto o, en general, de un proyecto. Se trata de una lista de requerimientos del cliente o prioridades de primer nivel que es conocida como la voz del cliente; esta lista se refina a un siguiente nivel de detalle listando uno o más cómo. En la siguiente fase estos cómo se convierten en qué, y se establece una nueva y más detallada lista de cómo para soportar los nuevos qué. Este proceso de refinamiento continúa hasta que cada punto en la lista sea concreto, tal vez un requerimiento de producción o cierta indicación a un trabajador. Este proceso se complica por el hecho de que en cada nivel de refinamiento algunos de los cómo afectan o se relacionan con más de un qué. Esta complicación se resuelve mediante un diagrama matriz que es la forma básica de la casa o matriz de la calidad.

Figura 2.10 Diagrama de Matriz DFC



Fuente. Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

2.4.9 Sistemas Poka-Yoke

El enfoque Poka-Yoke propone atacar los problemas desde su causa y actuar antes de que ocurra el defecto entendiendo su mecánica. Así mismo, reconoce que el ser humano comete errores, que olvida, que olvida y que olvida. Por ello, en algunas situaciones no es suficiente la capacitación ni la experiencia. De esta forma, para aquellos errores más críticos que están influidos por el cansancio de las personas, por estados de ánimo, por la urgencia de la producción o por la presión, es necesario diseñar sistemas a pruebas de errores (dispositivos Poka-Yoke) que permitan eliminar la posibilidad de falla, que el sistema advierta y prevenga lo más posible antes de que el error tenga consecuencias. En otras palabras, un sistema Poka-Yoke hace la inspección en la fuente o causa del error, determinando si existen las condiciones para producir con calidad. En caso de que estas condiciones no existan, el sistema impide que el proceso continúe o por lo menos mande una señal de alerta. Un dispositivo Poka-Yoke también permite a las personas revisar su propio trabajo.

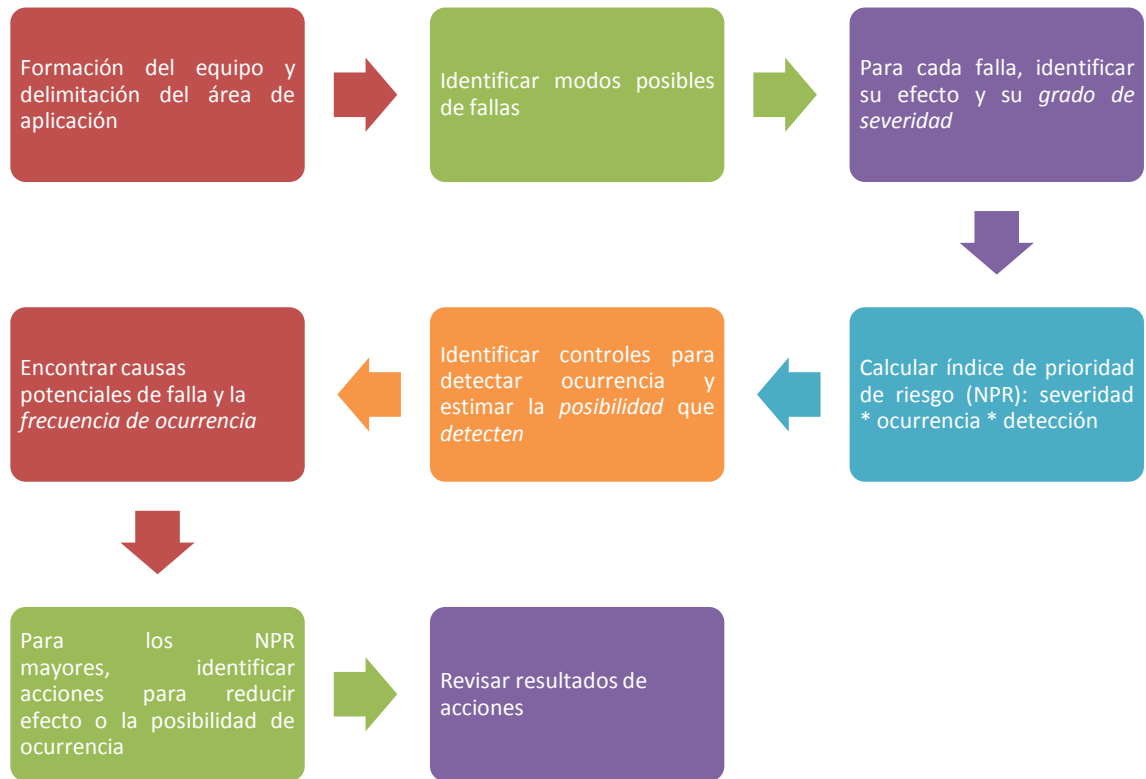
Existen dos tipos: los dispositivos preventivos Poka-Yoke, que nunca permiten el error (el microondas no funciona si la puerta está abierta) y el dispositivo detector, el cual manda una señal cuando hay posibilidad de error (cuando se abre la puerta del carro y la llave de encendido aún está puesta, el sistema manda una señal-pitidos para que el conductor no olvide la llave dentro del carro).

2.5 AMEF

La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF, FMEA, Failure Mode and Effects Analysis) es una técnica que permite identificar por anticipado las fallas potenciales de un producto o un proceso a partir de un análisis de su frecuencia, formas de detección y el efecto que provocan; estas fallas se jerarquizan, y para las fallas que vulneran más la confiabilidad del producto o el proceso será necesario generar acciones para atenderlas y de esta manera evitar su ocurrencia.

El AMEF permite identificar, caracterizar y asignar prioridades a las fallas potenciales de un proceso o producto.

Figura 2.11 Pasos para realizar un AMEF



Objetivos

- Identificar los modos de falla potenciales, y calificar la severidad de su efecto.
- Evaluar objetivamente la ocurrencia de causas y la habilidad de los controles para detectar la causa cuando ocurre.
- Clasifica el orden potencial de deficiencias de producto y proceso.
- Se enfoca hacia la prevención y eliminación de problemas del producto y proceso.

2.6 INFERENCIA ESTADÍSTICA

2.6.1 Población y muestra, parámetros y estadísticos

Por lo general los estudios estadísticos están enfocados en conocer y/o tomar decisiones acerca de una población o universo. El universo lo conforma el total de individuos, medidas, características sobre las cuales se lleva a cabo el estudio estadístico.

Una población es un conjunto o una colección muy bien definida de objetos, medidas, características, etc. que conforman el grupo o población de interés. Las poblaciones se clasifican en finitas o infinitas. Si es finita y pequeña es posible medir todos los componentes para tener un conocimiento “exacto” de las características (parámetros) de esa población. Cuando la población es infinita o demasiado grande, resulta imposible realizar el estudio, razón por la cual se toma una muestra representativa de esa población; los cálculos realizados sobre los datos muestrales nos llevarán a realizar afirmaciones o conclusiones acerca de los parámetros de la población. Es importante aclarar que las muestras sean representativas de manera que reflejen las características de la población.

2.6.2 Inferencia estadística

Un estadístico es cualquier medida cuyo valor se calcula a partir de los datos de una muestra. Antes de obtener los datos, hay incertidumbre sobre el valor que se obtendrá para algún estadístico en particular (puede ser la media, la varianza, la desviación estándar).

La estadística provee técnicas que permiten obtener conclusiones generales a partir de un conjunto limitado, pero representativo, de datos. Cuando inferimos no tenemos garantía de que la conclusión que obtenemos sea exactamente la correcta. Sin embargo, la estadística permite cuantificar el error asociado a la estimación.

La inferencia estadística permite realizar afirmaciones de naturaleza probabilística respecto a una población, en base a los resultados obtenidos en una muestra seleccionada de esa población. La inferencia estadística establece las características de una población con base en la información obtenida en una muestra. Por lo general, la inferencia se divide en estimación y prueba de hipótesis.

Un aspecto clave en la interpretación y uso de cualquier estadístico es que es una variable aleatoria, este valor depende de los elementos seleccionados de la muestra, por lo que varía de una muestra a otra. Cualquier estadístico, tiene una distribución de probabilidad; en esta distribución se relaciona el conjunto de posibles valores de la variable con la probabilidad asociada a estos valores.

Las distribuciones de probabilidad que más se emplean en intervalos de confianza y pruebas de hipótesis son las distribuciones: normal, T de Student, ji-cuadrada y F.

2.6.3 Estimación puntual y por intervalo

El objetivo de la estimación puntual es usar una muestra para calcular un número que representa en cierto sentido una buena estimación del valor real del parámetro. El número resultante se llama estimación puntual.

“Una estimación puntual de un parámetro θ es un solo número que se puede considerar como valor sensible para θ . Una estimación puntual se obtiene al seleccionar un estadístico adecuado y calcular su valor a partir de los datos muestrales proporcionados. El estadístico seleccionado se llama estimador puntual de θ .”

Con frecuencia es necesario estimar el valor de:

- La media μ del proceso (población).
- La varianza σ^2 o la desviación estándar σ del proceso.
- La proporción p de artículos defectuosos.

Los estimadores puntuales (estadísticos) más recomendado para estimar estos parámetros son respectivamente:

- La media muestral $\hat{\mu} = \bar{X}$
- La varianza muestral $\hat{\sigma}^2 = S^2$
- La proporción de defectuosos en la muestra, $\hat{p} = \frac{X}{n}$, donde X es el número de artículos defectuosos en una muestra de tamaño n .

2.6.4 Estimación por intervalo

Cuando se quiere tener mayor certeza acerca del verdadero parámetro poblacional, es necesario obtener información sobre qué tan precisa es la estimación puntual. De esta manera, la estimación puntual dirá poco sobre el parámetro cuando la variación entre una estimación y otra es muy grande. Una forma de saber que tan variable es el estimador consiste en calcular la desviación estándar o error estándar del estadístico, visto como una variable aleatoria.

Una forma de saber qué tan precisa es la estimación consiste en calcular un intervalo de confianza que indique un rango “donde puede estar el parámetro” con cierto nivel de seguridad o confianza. Construir un intervalo al $100(1-\alpha)\%$ de confianza para un parámetro desconocido θ consiste en estimar dos números (estadísticos) L y U , de manera que la probabilidad de que θ se encuentre entre ellos sea $1-\alpha$, es decir,

$$P(L \leq \theta \leq U) = 1 - \alpha$$

Donde L y U forman el intervalo de confianza buscado $[L, U]$.

El nivel de confianza $(1-\alpha)$ del intervalo es la probabilidad de que éste contenga al parámetro poblacional.

Podemos determinar los intervalos de confianza para una media, para la varianza y para una proporción.

2.6.5 Interpretación de un intervalo

De manera general, la correcta interpretación de un intervalo de confianza se da de la siguiente manera: si se obtuvieran 100 muestras independientes de la misma población o proceso, cada una de tamaño n y para cada muestra se calculará el intervalo de confianza a 95% para el mismo parámetro, entonces se espera que 95 de los 100 intervalos contengan el verdadero valor de dicho parámetro.

La longitud del intervalo de confianza es una medida que representa la precisión de la estimación; por ello, es deseable que la longitud de los intervalos sea pequeña. Pero esta longitud depende de tres aspectos; de la varianza de la población, que dependerá de los datos, del tamaño de muestra y por último del nivel de confianza de la estimación. La amplitud del intervalo en una aplicación específica se reduce conforme se incrementa el tamaño de la muestra.

Tabla 2.7 Resumen de fórmulas para intervalos de confianza

PARÁMETROS	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
μ	$\bar{X} - t_{\alpha/2, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$	$\bar{X} + t_{\alpha/2, n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}$
σ^2	$\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\alpha/2, n-1}}$	$\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\alpha/2, n-1}}$
p	$\hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$	$\hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$
$\mu_1 - \mu_2$	$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$	$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) + t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$
$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$	$\frac{S_1^2}{S_2^2} F_{1-\alpha/2, n_2-1, n_1-1}$	$\frac{S_1^2}{S_2^2} F_{\alpha/2, n_2-1, n_1-1}$
$p_1 - p_2$	$(\hat{p}_1 - \hat{p}_2) - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}}$	$(\hat{p}_1 - \hat{p}_2) + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1-\hat{p}_1)}{n_1} + \frac{\hat{p}_2(1-\hat{p}_2)}{n_2}}$

Fuente: Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

2.6.6 Conceptos básicos de prueba de hipótesis

Un estudio estadístico se realiza con el fin de dar o buscar respuestas con cierta confianza a ciertas preguntas y de esta manera poder tomar decisiones.

Los pasos fundamentales para probar este tipo de hipótesis son los siguientes:

Planteamiento de una hipótesis estadística

Una hipótesis estadística es una aseveración sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, la cual es susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa que se obtiene de la población. El nivel de verdad que se le asigne a tal hipótesis dependerá de la medida en que los datos recogidos apoyen lo afirmado en la hipótesis.

Estadístico de prueba

Una vez planteada la hipótesis estadística se procede a hallar el estadístico de prueba, el cual se calcula a partir de los datos de una muestra aleatoria de la población bajo estudio. La magnitud de este número permite discernir si se rechaza o no la hipótesis nula H_0 .

Criterio para rechazo

El estadístico de prueba, construido bajo el supuesto de que la hipótesis nula (H_0) es verdadera, es una variable aleatoria con distribución conocida. Si en efecto, H_0 es verdadera, el valor del estadístico de prueba debería caer dentro del rango de valores más probables de su distribución asociada, el cual se conoce como región de aceptación. Pero si cae en una de las colas de su distribución asociada, fuera del rango de valores más probables (en la región de rechazo), es evidencia en contra de que este valor pertenece a dicha distribución. De lo anterior, se deduce que el supuesto bajo el cual se construyó el planteamiento de la hipótesis nula no es el verdadero, por lo tanto, H_0 debe ser falsa.

El riesgo de una decisión equivocada: errores tipo I y tipo II

Probar una hipótesis estadística es una decisión probabilística, por lo tanto, existe el riesgo de cometer un error tipo I o un error tipo II. El primero ocurre cuando se rechaza H_0 y es verdadera, y el error tipo II es cuando se acepta H_0 y es falsa. En toda prueba de hipótesis cada tipo de error tiene una probabilidad de ocurrir. Con α y β se denotan las probabilidades de los errores tipo I y II, respectivamente. Así:

$\alpha = P \{ \text{error tipo I} \} = \text{probabilidad de rechazar } H_0 \text{ cuando es verdadera.}$

$\beta = P \{ \text{error tipo II} \} = \text{probabilidad de aceptar } H_0 \text{ que es falsa.}$

En la práctica suele ser más delicado cometer el error tipo I que el error tipo II, porque en la mayoría de las hipótesis el rechazar H_0 implica objetar algo que se acepta de manera convencional. Pero no rechazar H_0 representa, en muchos casos, seguir como hasta ahora.

2.7 ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE PROCESO

Índices de capacidad para procesos con doble especificación

Un Índice de Capacidad es la evaluación realizada a un proceso con el fin de evidenciar la amplitud de la variación natural de éste para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones).

2.7.1 Índice C_p

El índice de capacidad potencial del proceso, C_p , es la variación tolerada entre dos especificaciones (Superior e Inferior) sobre la Variación Real (6σ).

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

La interpretación de este índice se realiza de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2.8 Valores del C_p y su interpretación

Valor del índice C_p	Clase o categoría del proceso	Decisión (si el proceso está centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma
$C_p \geq 1.33$	1	Adecuado
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere de un control estricto.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis del proceso. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Fuente. Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

2.7.2 Índice C_r

Es conocido como razón de capacidad potencial, C_r , el cual está definido por:

$$C_r = \frac{\text{Variación real}}{\text{Variación tolerada}}$$

Con este índice se pretende que el numerador sea menor que el denominador, es decir, lo deseable son valores C_r pequeños (menores que 1). La ventaja del índice C_r sobre el C_p es que su interpretación es poco intuitiva, a saber: el valor del índice C_r representa la proporción de la banda de especificaciones que es ocupada por el proceso.

2.7.3 Índice C_{pi} , C_{ps} , C_{pk}

Los índice de capacidad para la especificación inferior, C_{pi} , e índice de capacidad para la especificación superior, C_{ps} , nos permiten evaluar las especificaciones por separado, estos índices toman en cuenta μ , al calcular la distancia de la media del proceso a una de las especificaciones. Esta distancia representa la variación tolerada para el proceso de un solo lado de la media. Por esto sólo se divide entre 3σ porque sólo se está tomando en cuenta la mitad de la variación natural del proceso.

$$C_{pi} = \frac{\mu - Ei}{3\sigma} \quad y \quad C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

Por su parte el índice C_{pk} , se conoce como índice de capacidad real del proceso, es considerado una versión corregida del C_p que si toma en cuenta el centrado del proceso. Se calcula tomando el valor más pequeño entre C_{pi} y C_{ps} , a través del cual podemos decir que si el valor del índice C_{pk} es satisfactorio (mayor que 1.25), indica que el proceso en realidad es capaz. Si $C_{pk} < 1$, entonces el proceso no cumple con por lo menos una de las especificaciones. Existen varias formas equivalentes para calcularlo, una de las más comunes es la siguiente:

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - Ei}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

2.7.4 Índice K

El índice de centrado del proceso, K, es útil para evaluar si la distribución de la característica de calidad está centrada con respecto a las especificaciones. Este indicador mide la diferencia entre la media del proceso, μ , y el valor objetivo o nominal, N (target), para la correspondiente característica de calidad; y compara esta diferencia con la mitad de la amplitud de las

especificaciones. Multiplicar por 100 ayuda a tener una medida porcentual. Por ello es útil calcular, que se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{\mu - N}{\frac{1}{2}(ES - EI)} * 100$$

2.7.5 Índice C_{pm} (Índice Taguchi)

Cumplir con especificaciones no es sinónimo de buena calidad y la reducción de la variabilidad debe darse en torno al valor nominal (calidad óptima). Es decir, la mejora de un proceso según Taguchi debe estar orientada a reducir su variabilidad alrededor del valor nominal, N , y no sólo para cumplir con especificaciones. En consecuencia, Taguchi (1986) propone que la capacidad del proceso se mida con el índice C_{pm} que está definido por:

$$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$$

Donde τ está dada por:

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

y N es el valor nominal de la característica de calidad; EI y ES son las especificaciones inferior y superior, es por ello que cuando el índice C_{pm} , es menor que uno significa que el proceso no cumple con especificaciones, ya sea por problema de centrado o por exceso de variabilidad. Cuando el índice C_{pm} es mayor que uno quiere decir que el proceso cumple con especificaciones, y en particular que la media del proceso está dentro de la tercera parte central de la banda de las especificaciones. Si el índice C_{pm} es mayor que 1.33, entonces el proceso cumple con las especificaciones, pero además la media del proceso está dentro de la quinta parte central del rango de especificaciones.

2.7.6 Capacidad de largo plazo e índices P_p y P_{pk}

Cuando se habla de capacidad de un proceso se puede tener una perspectiva de corto o largo plazo. La capacidad de corto plazo se calcula a partir de muchos datos tomados durante un período suficientemente corto para que no haya influencias externas sobre el proceso. Por lo tanto, esta capacidad representa el potencial del proceso, es decir, lo mejor que se puede esperar del mismo. Por otra parte, está la perspectiva de largo plazo que, a final de cuentas, es la que le interesa al cliente. De aquí que la capacidad de largo plazo se calcula con muchos datos tomados de un período de tiempo suficientemente largo como para que factores externos influyan en el desempeño del proceso.

Índices P_p y P_{pk} :

Estos índices están enfocados al desempeño del proceso a largo plazo, y no sólo a su capacidad. Por ello, el índice de desempeño potencial del proceso (process performance) P_p se calcula de la siguiente manera:

$$P_p = \frac{ES - EI}{6\sigma_L}$$

Donde $6\sigma_L$ es la desviación estándar de largo plazo. Nótese que el índice P_p se calcula en forma similar al C_p , la única diferencia es que P_p utiliza σ_L , mientras que C_p usualmente se calcula con la desviación estándar de corto plazo. Un problema del índice p_p es que no toma en cuenta el centrado del proceso, por ello suele complementarse con el índice de desempeño real del proceso P_{pk} que se obtiene con:

$$P_{pk} = \text{mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma_L}, \frac{ES - \mu}{3\sigma_L} \right]$$

Adviértase que este índice se calcula de la misma manera que el índice C_{pk} , la única diferencia es que P_{pk} utiliza σ_L (la desviación estándar de largo plazo).

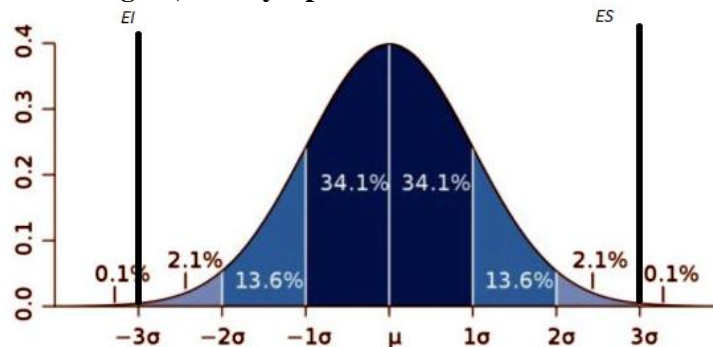
Procesos con una sola especificación:

Existen procesos cuyas variables de salida tienen una sola especificación, ya sea que se trate de variables del tipo entre más grande mejor, donde lo que interesa es que sean mayores a cierto valor mínimo (EI); o de variables del tipo entre más pequeña mejor, donde lo que se quiere es que nunca excedan cierto valor máximo (ES).

2.7.7 Calidad Tres Sigma

Tener un proceso Tres Sigma significa que el índice Z correspondiente es igual a tres.

Figura 2.12 Calidad Tres Sigma; $Z_c=3$ y $C_p=1$

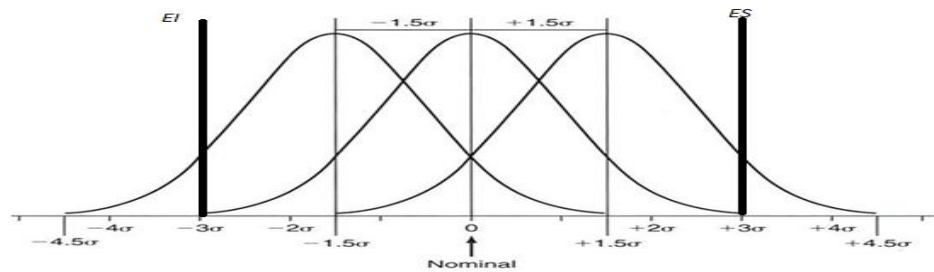


Fuente: <http://www.sceu.frba.utn.edu.ar/e-learning/cursos-a-distancia/Calidad/Experto-Universitario-en-Six-Sigma-Green-Belt/temario.html>

Al observar la gráfica se evidencia que el porcentaje de datos que cumplen especificaciones son de 99.73% y solo el 0.27% no, lo cual corresponde a 2700 partes por millón (PPM) fuera de especificaciones. De acuerdo con lo anterior, a primera vista un proceso Tres Sigma parece que tiene un nivel adecuado. Sin embargo, para las exigencias actuales, tal calidad por lo general no es suficiente por dos razones:

- Un porcentaje de 0.27% de artículos defectuosos por cada millón (PPM) producidas. En un mundo donde las cifras de consumo anual para muchos productos es de varios millones, esa cantidad de defectuosos es demasiado.
- Lo anterior se agrava si consideramos la diferencia entre la capacidad de corto y largo plazo, en donde los estudios indican que la media de un proceso puede desplazarse hasta 1.5 sigmas respecto al valor nominal, debido a factores externos y desplazamientos del propio proceso. Es decir, que el índice Z puede tener un cambio o movimiento a largo plazo hasta de 1.5 ($Z_m = 1.5$).

Figura 2.13 Calidad 3 sigma; con un movimiento 1.5 sigma

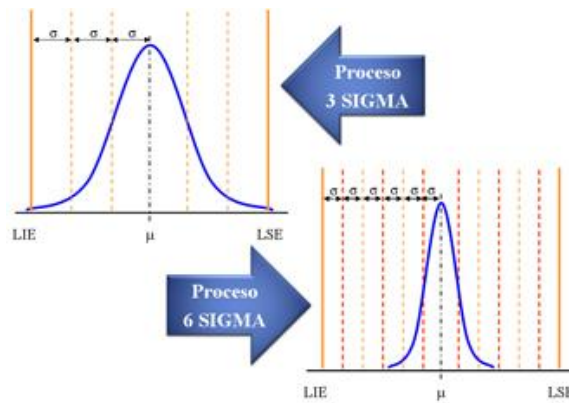


Fuente: <http://www.sceu.frba.utn.edu.ar/e-learning/cursos-a-distancia/Calidad/Experto-Universitario-en-Six-Sigma-Green-Belt/temario.html>

2.7.8 Calidad Seis Sigma

Tener esta calidad significa diseñar productos y procesos que logren que la variación de las características de calidad sea tan pequeña que el índice Z_c de corto plazo sea igual a seis, lo cual implica que la campana de la distribución quepa dos veces dentro de las especificaciones.

Figura 2.14. Calidad 3 y 6 σ (Cp=2.0, Cpk= 2.0, Zs=Zi=6)



Fuente. http://www.cursos6sigma.com/presentacion_cursos_6_sigma/

Un proceso Seis Sigma es un proceso cuya capacidad para cumplir especificaciones a corto plazo es igual a $Z_c= 6$ o cuando es a largo plazo $Z_l= 4.5$, lo cual, a corto plazo significa $C_{pk}= 2$ y a largo plazo $P_{pk}= 1.5$.

En ese caso, a corto plazo se tendría una tasa de defectos de 0.002 PPM, que en términos prácticos equivale a un proceso con cero defectos.

Con un proceso Seis Sigma, si a largo plazo ocurriera que la media del proceso se moviera hasta 1.5σ veces a partir del valor nominal, hacia la especificación superior por ejemplo, eso no generaría problemas.

Con la información de la tabla 2.9 queda claro que tener una empresa Seis Sigma no es una labor que termine en un año, por el contrario requiere del trabajo decidido de varios años.

Tabla 2.9. Niveles Sigmas.

Pasar de	A	Factor de reducción de defectos	Reducción porcentual
2 sigmas (308357 PPM)	3sigmas (66807 PPM)	5	78%
3 sigmas (66807 PPM)	4 sigmas (6210 PPM)	11	91%
4 sigmas (6210 PPM)	5 sigmas (233 PPM)	27	96%
5 sigmas (233 PPM)	6 sigmas (3.4 PPM)	68	99%

Fuente. Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

2.8 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

En el desarrollo de cualquier proceso investigativo se debe incorporar la estadística y en particular el diseño de experimentos.

La estadística es un soporte para el investigador en el diseño y análisis de sus experimentos. Bien aplicada, conduce a la realización de diseños más eficientes con el consiguiente ahorro de tiempo y recursos, a la vez que se gana en información.

La experimentación debe ir acompañada por técnicas estadísticas: los análisis descriptivos y exploratorios de datos ayudan en el reconocimiento de los problemas y en el planteamiento de las hipótesis; el diseño estadístico de experimentos y el muestreo aportan las bases para la planeación, recolección de datos y validación de la información.

Según George Wald, citado por Ward law (2000). “La experimentación es el mecanismo para hacer que la Naturaleza hable inteligiblemente”. Mediante el experimento se pregunta a la naturaleza, pero es necesario diseñar los experimentos para facilitar la comprensión de la respuesta o mensaje implícito en los datos obtenidos. De otro lado, el análisis estadístico de los datos de un experimento está supeditado al tipo de diseño utilizado; así, diseño y análisis no pueden ir separados en una investigación.

En la investigación científica, es común la formulación de la hipótesis, la cual para su aprobación o rechazo, debe estar sustentada por un conjunto de observaciones, las cuales deben seleccionarse a través de un patrón bien definido. Este patrón se conoce como diseño experimental.

Se entiende por diseño estadístico de experimentos como el proceso de planear todos los pasos que deben darse, y el orden que debe guiarse, en la recolección y posterior análisis de la información requerida para estudiar un problema de investigación. En un sentido más específico, algunos autores consideran el diseño de experimentos como aquel conjunto de reglas que permiten asignar tratamientos a unidades experimentales, buscando eliminar sesgos y cuantificar el error experimental.

Diseñar estadísticamente un experimento, es realizar un ensayo o una serie de ensayos, tratando de identificar las variables o factores de mayor influencia en una prueba de interés; de esta manera se pueden cuantificar los cambios que estas variable o factores generan en el proceso, igualmente introduciendo cambios se trata de minimizar el efecto de las variables que no se pueden controlar, procurando con ello estabilizar y minimizar las variables de respuestas o variables de salida.

El diseño experimental tiene como propósito la obtención del máximo de información con el mínimo de costo y el máximo de eficiencia. En muchas ocasiones, estas condiciones se cumplen al

seleccionar diseños simples, sencillos de aplicar y fáciles de analizar. Ahora bien, un diseño es eficiente cuando proporciona más conocimientos y mayor precisión con un número menor de datos.

La información obtenida en el desarrollo de los experimentos, debe ser una información de calidad, que permita desarrollar nuevos productos y procesos, comprender y entender mejor un sistema (proceso industrial, un procedimiento, etc.) y tomar decisiones sobre cómo mejorar y optimizar su calidad, comprobar hipótesis científicas, etc.

El diseño estadístico de una investigación exige que las personas responsables del experimento tengan una idea clara, desde un principio, de lo que se va estudiar, de la manera como se va a recoger la información y, al menos, una idea cualitativa del tipo de análisis posterior que se debe hacer a los datos. En cualquier aplicación de la estadística en el diseño y análisis de un experimento, es necesario que quienes lo desarrollen entiendan claramente el problema objeto de estudio, que posean un amplio conocimiento del material experimental a usar, que conozcan las posibilidades existentes para coleccionar los datos y además posean el conocimiento estadístico necesario para direccionar e interpretar adecuadamente los resultados del experimento. Generalmente el grupo de investigación se conforma por expertos conocedores de la problemática a estudiar, y por especialistas en el diseño estadístico del proceso y el análisis de la información recolectada.

Aunque la aplicación o uso del diseño experimental se da en cualquier área del conocimiento, este debe cumplir las siguientes fases, según Montgomery (2007):

1. Reconocimiento y formulación del problema. El investigador debe responder breve y claramente preguntas como: ¿Por qué va a efectuar la investigación? ¿Cómo la va a llevar a cabo? ¿A qué tipo de conclusiones espera llegar y qué validez tendrían? ¿A qué población podrían aplicarse las conclusiones? ¿Logrará los propósitos establecidos con los recursos financieros, humanos y de tiempo disponible?
2. Selección de factores y sus niveles. El investigador selecciona los factores o variables independientes que van a ser analizados, de acuerdo con el conocimiento del fenómeno y la posibilidad de controlarlos. Deberá especificarse los factores cuantitativos y los cualitativos, y escoger sus niveles de modo que puedan combinarse y diferenciarse. Dichos niveles pueden ser fijos, o sea, conocidos previamente, o aleatorios.
3. Selección de variables de respuesta. La variable de respuesta o dependiente debe ser aquella que proporcione información real acerca del problema en estudio.
4. Selección del diseño experimental. Tres aspectos fundamentales deben tenerse en cuenta en la selección de un diseño: El número de factores, la agrupación de unidades experimentales para eliminar una o más causas de variación, y el número de repeticiones. Un experimento se diseña buscando eficiencia y optimación.
5. Realización del experimento. Es el proceso de recolección de datos. Todo el personal debe ser experto en sus tareas.

6. Análisis de datos. El propósito del análisis es proveer una explicación razonable a la evidencia experimental para determinar cuáles hipótesis están en contradicción con la evidencia, para proveer estimaciones de parámetros poblacionales, para indicar el nivel de confianza que pueda asignarse a cualquier conclusión alcanzada y estimular el proceso de conjetura por parte del experimentador.
7. Conclusiones y recomendaciones.

2.9 ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Es una técnica estadística de análisis multivariante, que estudia las variaciones de una variable cuantitativa continua, en función de una o más variables cuantitativas continuas. La variable cuya variabilidad queremos estudiar es la variable dependiente o respuesta, y las variables en función de las cuales varía son las variables independientes, también llamadas variables predictoras.

El objetivo del análisis de regresión es predecir los valores de la variable respuesta, en función de los valores de las variables independientes.

El análisis de regresión se basa en tres supuestos básicos, los cuales, si son transgredidos, invalida automáticamente cualquier proyección. En el primer supuesto es que los errores de la regresión tienen una distribución normal, con media cero y varianza constante. El segundo supuesto es que los errores no están correlacionados entre ellos. Este fenómeno se denomina autocorrelación. El último supuesto es que todas las variables analizadas se comportan en forma lineal o son susceptibles de linealizar.

Consideremos un par de variables, una de las cuales será denominada variable de entrada, y la otra variable de respuesta. El análisis de regresión permite elaborar un modelo de pronóstico basado en estas variables, el cual puede tener desde una hasta n variables independientes.

2.9.1 Tipos de análisis de regresión

Los análisis de regresión pueden ser de varios tipos, según el número de variables independientes y de la función. Si el número de variables independientes es una, la regresión es simple y si el número de variables independiente es mayor que una la regresión es múltiple. Es decir, atendiendo al número de variables independientes, la regresión puede ser simple o múltiple.

Otra característica que debe tenerse en cuenta en la clasificación de la regresión es la función. Si la dependencia funcional de la variable respuesta respecto a las variables independientes es lineal, la regresión es lineal y si la función es no lineal, la regresión es no lineal.

Una función lineal está compuesta por una constante más un número de sumandos igual al número de variables independientes; cada sumando está compuesto por la correspondiente variable independiente elevada a la potencia uno multiplicada por un factor constante, que es el coeficiente de regresión, correspondiente a esa variable. Todas las relaciones funcionales distintas a la línea son funciones no lineales.

Atendiendo a las dos características utilizadas en la clasificación de la regresión, número de variables y forma funcional la regresión puede ser:

- Regresión Lineal Simple
- Regresión Lineal Múltiple
- Regresión No lineal Simple
- Regresión No Lineal Múltiple

2.9.2 Regresión lineal simple

En este tipo de análisis de regresión hay una sola variable independiente y la dependencia de la variable respuesta respecto a la predictora sigue una función lineal como la siguiente:

$$Y = B_0 + B_1X$$

La expresión anterior, Y es la variable dependiente y X es la variable independiente; el término independiente B_0 es el valor de la variable dependiente cuando $X=0$. También se le suele denominar “ordenada en el origen”. B_1 es el coeficiente de regresión lineal y es el incremento de la variable dependiente por cada unidad de aumento en la variable independiente B_0 y B_1 son parámetros poblacionales, que estimaremos a partir de datos muestrales. Si existe regresión lineal entre Y y X, el valor de la variable dependiente en un elemento cualquiera de la población viene dado por la siguiente expresión:

$$Y_i = B_0 + B_1X_i + E_i$$

El parámetro E_i recoge las diferencias encontradas entre la relación lineal y el valor de la variable, indica la variabilidad de la variable dependiente debida a causas no controladas por el modelo. A E_i también se le denomina residuo. El análisis de los residuos es una parte muy importante del análisis de regresión.

La estimación de los parámetros de regresión lineal simple puede hacerse por varios métodos. El más utilizado es el de mínimos cuadrados, que consiste en calcular una recta tal que la suma de todas las diferencias entre los valores observados y la recta sean los mínimos posibles.

El cálculo del estimador del coeficiente de regresión, a partir de los datos muestrales, viene dado por la siguiente expresión:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

El estimador del término independiente (ordenada de origen), puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

Mediante las anteriores expresiones se calculará, a partir de los datos muestrales, los estimadores de los parámetros de la recta de regresión.

La aplicabilidad de un modelo de regresión es estadísticamente válida si se cumplen las siguientes condiciones:

1. La variable dependiente es aleatoria. Para cada posible valor de X, hay una subpoblación de valores de la variable dependiente. Con la distribución normal, la media de dicha distribución se encuentra en la recta de regresión.
2. Las varianzas de todas las subpoblaciones de valores de la variable dependiente y la variable independiente (x) tienen la misma varianza.
3. Las subpoblaciones de valores de la variable dependiente, asociadas a los valores de x, son independientes entre sí.

2.9.3 Regresión lineal múltiple:

Conceptualmente, la única diferencia entre la regresión simple y la múltiple es que el número de variables independientes es mayor que 1. El modelo matemático, en este caso, es el siguiente:

$$Y = B_0 + B_1 X + \dots + B_k X_k$$

En el modelo anterior, B_i es el coeficiente de regresión correspondiente a la i ésima variable; indica el incremento de la variable dependiente, por aumento unitario de la i ésima variable independiente, suponiendo fijas el resto de las variables.

Aunque exista relación lineal significativa entre la variable dependiente y las variables independientes, lo habitual es que las variables independientes expliquen solamente una parte de las

variaciones observadas de la variable dependiente. El resto de la variabilidad, se debe a causas no controladas por el modelo. La suma de todas las diferencias de los valores de la variable dependiente, respecto a la media, que es la variabilidad por todas las causas, podemos descomponerla en dos partes, la explicada por el modelo de regresión y la debida a otras causas.

En los modelos matemáticos, representamos los parámetros poblaciones, pero los resultados experimentales sólo permiten el cálculo de los estimadores de dichos parámetros.

2.10 ANÁLISIS DE R&R (REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD)

Los estudios R&R analizan la variación de las mediciones realizadas con un instrumento de medición (repetibilidad) y la variación de las mediciones realizadas por el operador (reproducibilidad). Para reducir la variación actual del proceso, se debe identificar y separar la variación debida al sistema de medición.

Cada observación de un proceso forma parte de la variación del proceso y la variación de la medición. Las fuentes de variación en el caso de los sistemas de medición son:

1. El instrumento de medición.
2. El operador.
3. La variación del producto.

La variación de un instrumento de medición puede ser atribuida a factores adicionales, como son:

1. Calibración.
2. Estabilidad.
3. Repetibilidad (presencia de variación en el instrumento de medición cuando es utilizado por un operador en intervalos de tiempo).
4. Linealidad (¿Está el instrumento de medición más aproximado a valores bajos que a valores altos?).

La variación en una pieza es una parte de la variación del proceso, que está mezclada con la variación de la medición.

La repetibilidad y la reproducibilidad son los componentes de la precisión. Los estudios R&R involucran la reproducibilidad (variación del operador) y a la repetibilidad (variación del instrumento de medición).

La repetibilidad: es la variación observada cuando el operador mide varias veces la misma pieza con el mismo instrumento de medición. En este caso, la repetibilidad de un instrumento de medición hace referencia a la precisión o variabilidad de sus mediciones cuando se obtienen varias mediciones del mismo objeto en condiciones similares (mismo operador).

Reproducibilidad: Es la variación adicional observada cuando varios operadores utilizan el mismo instrumento de medición para medir la misma muestra. En este caso, la reproducibilidad es la precisión o variabilidad de las mediciones del mismo objeto pero en condiciones variables (diferentes operadores).

La combinación de ambas fuentes de variación están referidas a los estudios R&R. El propósito de los estudios R&R es verificar que la variabilidad del sistema de medición sea insignificante con respecto a la variabilidad del producto que se mide, utilizando el sistema de medición.

En los estudios R&R se evalúa de modo experimental qué parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuirle al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide.

ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD LARGO

Un estudio R&R largo, permite evaluar la repetibilidad y reproducibilidad en forma separada.

Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio largo de repetibilidad y reproducibilidad son: variabilidad del producto, del instrumento y de los operadores. Sean σ_{total}^2 la variabilidad total observada; σ_{prod}^2 la varianza atribuible al producto (parte o piezas), σ_{instr}^2 la variabilidad o error del instrumento de medición y, σ_{oper}^2 la variabilidad o error debido a operadores, entonces se cumple la siguiente relación:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{prod}^2 + \sigma_{oper}^2 + \sigma_{instr}^2$$

Donde

$$\sigma_{instr}^2 = \sigma_{repeti}^2 \text{ y } \sigma_{oper}^2 = \sigma_{reprod}^2$$

Por lo tanto, el error o variabilidad de las mediciones debido a repetibilidad y reproducibilidad se obtiene con:

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{\text{repeti}}^2 + \sigma_{\text{reprod}}^2$$

2.10.1 ANOVA para el estudio R&R largo

El análisis de varianza (ANOVA), permite identificar y cuantificar de mejor manera todas las fuentes de variación presentes en el estudio R&R.

El método de ANOVA no supone de antemano la inexistencia de interacción operador x parte³ como lo hace el método basado en medias y rangos. De tal forma que cuando hay interacción significativa el método de medias y rangos subestima la magnitud del error de medición ($\sigma_{R\&R}$). En cambio, el método de ANOVA reparte la variación total (σ_{total}^2) de los datos en la siguiente forma:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{parte}}^2 + \sigma_{\text{oper}}^2 + \sigma_{\text{operxparte}}^2 + \sigma_{\text{instr}}^2$$

Donde se agrega el componente $\sigma_{\text{operxparte}}^2$ que se considera parte de la reproducibilidad. Es decir, se cumplen las siguientes relaciones:

$$\sigma_{\text{repeti}}^2 = \sigma_{\text{instr}}^2 \text{ y } \sigma_{\text{reprod}}^2 = \sigma_{\text{oper}}^2 + \sigma_{\text{operxparte}}^2$$

2.10.2 Estudio R&R corto (short method)

Un estudio de repetibilidad y reproducibilidad corto (estudio R&R corto) permite estimar de manera rápida la variabilidad con la que contribuye el proceso de medición; sin embargo, con este estudio no es posible separar la repetibilidad (instrumento) de la reproducibilidad (operadores), sino que vienen de manera mezclada.

El hecho de que en un estudio corto cada operador únicamente haga una medición por pieza, no sólo hace que el estudio sea más rápido, sino que también es probable que bajo ciertas circunstancias sea lo único que se puede hacer.

³Existe interacción *operador x parte* cuando el desempeño de los operadores es diferente según el tipo de piezas; por ejemplo, con ciertas piezas un operador reporta mediciones sensiblemente más altas que los demás y con otras piezas el mismo operador reporta mediciones más bajas.

2.10.3 Monitoreo del sistema de medición

Los estudios R&R mencionados permiten tener una evaluación del proceso de medición en un periodo corto y las conclusiones obtenidas son válidas, aunque no para siempre. El estudio debe repetirse cierto intervalo de tiempo para conocer como marcha el estado del proceso de medición. No es fácil determinar cada cuanto se debe realizar un estudio R&R, ya que depende del tipo de instrumento, la intensidad con que se utiliza, la capacidad aportada de acuerdo a estudios anteriores, entre otros aspectos.

Hay estudios donde el monitoreo del sistema de medición se realiza de manera permanente, midiendo cada cierto intervalo de tiempo una o varias muestras. De esta manera, se puede decidir el momento para llevar a cabo un estudio R&R. Una herramienta importante en este tipo de estudios es la carta de control, ya que permite tener una visualización del comportamiento de las mediciones a través del tiempo.

Dos formas de estudiar la estabilidad del proceso de medición son:

- **Estudio de estabilidad con una pieza patrón:** Con este tipo de estudio se monitorea la estabilidad del instrumento de medición en cuanto a su media (exactitud) y variabilidad (precisión). Consiste en medir en forma repetida una pieza patrón con el mismo instrumento y por el mismo operador, de manera intercalada en la producción. Los datos generados para la pieza patrón se analizan con una carta control para individuales. Como la misma pieza es medida por el mismo operador, la variabilidad observada es directamente la variabilidad del instrumento o error de medición.

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{instr}}^2 = \sigma_{\text{EM}}^2$$

- **Estudio de estabilidad con varias piezas de la producción:**

El objetivo en este estudio de estabilidad es monitorear el proceso de medición tomando dos mediciones sobre la misma pieza cada determinado tiempo de inspección, con un solo operador. Con esta forma de proceder se podrán identificar dos fuentes de variabilidad: la debida al instrumento y la del producto, por lo que se cumple la relación:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{prod}}^2 = \sigma_{\text{intru}}^2$$

La variabilidad debida al producto surge porque se miden diferentes muestras a lo largo del tiempo, pero la variabilidad entre las dos mediciones para cada producto es atribuible sólo al sistema de medición, puesto que se trata de la misma pieza y las dos mediciones son realizadas por el mismo operador. Cabe señalar que en este estudio también se pueden utilizar dos operadores si ésta es la realidad del equipo.

2.10.4 Estudio R&R para atributos

Es utilizado en los procesos de manufactura en los cuales existen procesos de medición basados en evaluaciones subjetivas realizadas por inspectores, que clasifican las piezas o productos en unas pocas categorías. El caso más usado es el de dos categorías, donde las piezas se aceptan o rechazan con base en una apreciación basada en los sentidos (vista, gusto, olfato, oído, tacto), lo que da lugar a datos o mediciones en escala binaria.

En un estudio R&R discreto binario típico al menos dos operadores evalúan en dos ocasiones una cantidad suficiente de piezas (más de 30). Además, es recomendable conocer el verdadero estado de las piezas o si fuera posible contar incluso con un valor de referencia continuo para éstas. Es precisamente el nivel de información con el que se cuenta lo que determina el tipo de análisis que se puede realizar. Sobre el particular se distinguen los siguientes métodos:

- **Métodos de análisis de riesgo:**

En este estudio m operadores evalúan n piezas r veces clasificándolas con los códigos: 1=aceptable o 0 = inaceptable. Se puede contar o no con una columna de referencia que indica el verdadero estado de cada pieza. Básicamente el análisis consiste en obtener estadísticos de acuerdos o desacuerdos entre los operadores (reproducibilidad), dentro de los operadores (repetibilidad) y de los operadores con el estándar.

- **Método de teoría de señales:**

Se aplica al mismo tipo de datos del estudio anterior, pero además se requiere contar con una referencia en escala continua para cada pieza, y el objetivo del análisis es estimar el ancho promedio de las zonas de incertidumbre que aparecen alrededor de cada especificación. Sucede que las piezas que caen cerca de una especificación tienen alto riesgo de no ser percibidas igual por todos los operadores: unos la rechazan y otros la aceptan. Sin embargo, hay un punto a la izquierda y otro a la derecha de cada especificación a partir de los cuales todos los operadores son consistentes en rechazar o aceptar las piezas en concordancia con el verdadero valor de referencia.

- **Método analítico:**

Con este método, n piezas son evaluadas r veces y se registra el número de veces que se acepta cada una de ellas. Para fines del estudio se requiere contar con valores de referencias continuos para las piezas. Nótese que no necesariamente son operadores los que evalúan las piezas, sino que puede ser un instrumento que se emplea de manera cotidiana y que sólo indica si la pieza pasa o no pasa. Además se requiere que las piezas cubran todo el rango, desde aquella que se rechaza en todas las repeticiones hasta la que se acepta en todas, con al menos seis piezas en la zona intermedia, donde unas veces son rechazadas y otras aceptadas a los largo de las repeticiones.

2.11 CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO

Los procesos siempre tienen variación, ya que en él intervienen diferentes factores sintetizados a través de las 6 M: Materiales, maquinaria, medición, mano de obra (gente), métodos y medio ambiente. Bajo condiciones normales o comunes de trabajo, todas las M aportan variación a las variables de salida del proceso, en forma natural o inherente, pero además aportan variaciones especiales o fuera de lo común, ya que a través del tiempo las 6 M son susceptibles de cambios, desajustes, desgastes, errores, descuidos, fallas, etc. Así, hay dos tipos de variabilidad:

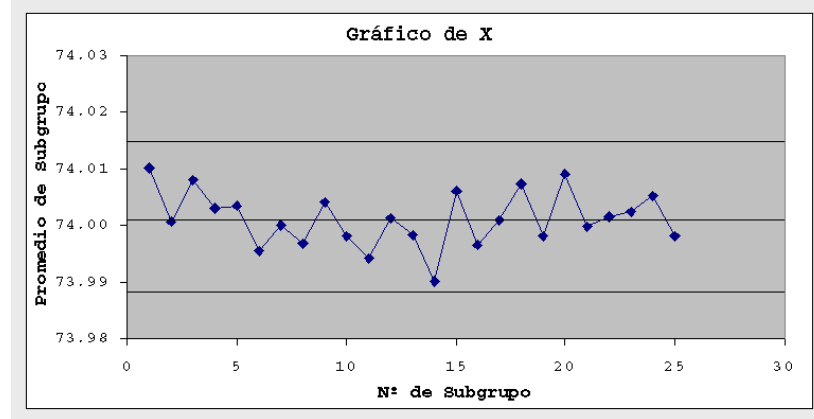
- La variación por causas comunes (o por azar). Es aquella que permanece día a día, lote a lote; y es aportada de forma natural por las condiciones de las 6 M. Las causas comunes se deben a la variación natural del proceso.
- La variación por causas especiales (o atribuirles). Es causada por situaciones o circunstancias especiales que no están de manera permanente en los procesos.

Cuando un proceso trabaja sólo con causas comunes de variación se dice que está en control estadístico o es estable, ya que su variación a través del tiempo es predecible. Caso contrario, un proceso en el que están presentes causas especiales se dice que está fuera de control estadístico (o simplemente que es inestable); este tipo de procesos son impredecibles en el futuro inmediato pues en cualquier momento pueden aparecer las causas especiales teniendo un efecto sobre la tendencia central o sobre la variabilidad.

No distinguir entre estos dos tipos de variabilidad conduce a cometer dos errores en la actuación de los procesos. Error 1: reaccionar ante un cambio o variación (efecto o problema) como si proviniera de una causa especial, cuando en realidad surge de algo más profundo en el proceso, como son las causas comunes de variación. Error 2: tratar un efecto o cambio como si procediera de causas comunes de variación, cuando en realidad se debe a una causa especial.

Lo mejor es tratar de cometer rara vez a ambos, para ello, el doctor Walter Shewhart ideó las cartas de control en el año 1924.

Figura 2.15. Ejemplo de Control de proceso estadístico.



Fuente. <http://7herramientasfatima.galeon.com/grafikcontrol.htm>

2.11.1 Cartas de control

El objetivo básico de una carta de control es observar, analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Así, es posible distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales (atribuibles), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de mejora. Cuando se habla de analizar el proceso nos referimos principalmente a las variables de salida (características de calidad), pero las cartas de control también pueden aplicarse para analizar la variabilidad de variables de entrada o de control del proceso mismo.

2.11.2 Límites de control

Se calculan a partir de la variación del estadístico (datos) que se representan en la carta. Los límites de control son calculados para determinar la variación de cada subgrupo.

2.11.3 Tipos de cartas de control

Existen dos tipos generales de cartas de control: para variables y para atributos. Las cartas de control para variables se aplican a características de calidad de tipo continuo y son aquellas que requieren un instrumento de medición (peso, volumen, longitud, etc.).

	CARTA	PROPÓSITO	USO	TAMAÑO DE SUGRUPO, n	CONSIDERACIONES ADICIONALES
Variables	De medias \bar{X}	Analiza las medias de subgrupos como una forma de detectar cambios en el procedimiento del proceso. Aunque la carta está inspirada en la distribución normal, funciona bien para otras funciones debido al teorema del límite central.	Procesos masivos (de mediano a alto volumen), donde en un corto tiempo se producen varios artículos y/o mediciones.	$n > 3$. A medida que n crece la carta detecta incluso pequeños cambios en el proceso. Por ello, generalmente un tamaño de n menor que 10 es suficiente para detectar cambios moderados y grandes, que son los de mayor interés en la práctica.	Los límites de control indican donde se espera que varíen las medidas de los subgrupos, por lo que no indican donde varían las mediciones individuales, y no tiene nada que ver con las especificaciones.
	Rangos (R)	Analiza los rangos de los subgrupos como una estrategia para detectar cambios en la amplitud de la variación del proceso. La falta de normalidad afecta un poco a la carta.	Se usa conjuntamente con la carta \bar{X} cuando $n < 11$. Por lo tanto, se aplica al mismo tipo de proceso que tal carta.	$3 < n < 11$. A medida que n crece es capaz de detectar cambios más pequeños en la amplitud de la dispersión del proceso.	Es importante utilizarla junto con una carta \bar{X} . De los criterios para cambios de nivel, solo utilizar el de puntos fuera de los límites.
	Desviación estándar (S)	Analiza la desviación estándar que se calcula a cada subgrupo, como una estrategia para detectar cambios en la amplitud de la variación del proceso. La falta de normalidad afecta un poco a la carta.	Se usa conjuntamente con la carta \bar{X} cuando $n > 10$. Por lo tanto, se aplica al mismo tipo de proceso el de la carta \bar{X} .	$n > 10$. Dado el tamaño de subgrupo recomendado, usarla solo cuando se quiera detectar incluso pequeños cambios en la dispersión del proceso y se esté dispuesto a atender estos cambios.	Tanto la carta \bar{X} como ésta, tienen una mayor sensibilidad cuando n crece; usarlas cuando se quiere y se esté dispuesto a tener un control estricto sobre el proceso. De los criterios para cambios de nivel, solo utilizar el de puntos fuera de los límites.
	Medias individuales (X)	Analiza cada medición individual del proceso y detecta cambios grandes tanto en la media como en la amplitud de la dispersión. Si la distribución no es normal, la	Procesos de bajo volumen, donde se requiere un tiempo considerable (de una o más horas) para obtener un resultado o	Por propósito $n=1$.	Si en estos procesos es impórtate destacar cambios más pequeños y medianos, se recomienda utilizar otra carta más sensible (la

		carta puede resultar un poco afectada.	medición. También cuando mediciones cercanas en el tiempo sólo difieren por error de medición.		EWMA o CUSUM)
Atributo	Proporción o fracción de artículos defectuosos (p)	Analizar la proporción de artículos defectuosos por subgrupo (unidades rechazadas/unidades inspeccionadas). Se supone una distribución binomial.	Por lo general es utilizada para reportar resultados en puntos de inspección, donde una o más características de calidad son evaluadas, y en función de eso el artículo es aceptado o rechazado.	El valor de n puede ser constante o variable pero suficientemente grande para tener una alta probabilidad de que en cada subgrupo se detecte por lo menos una pieza defectuosa. Esto se logra tomando a n tal que $n > 9 \left[\frac{1 - \bar{p}}{\bar{p}} \right]$	No es adecuada si n es mucho más pequeña que el valor recomendado. Para n muy grande, de uno o varios miles, los límites de control estarán muy estrechos; por lo tanto, es mejor graficar la proporción de una carta de individuales. Si n es muy variable de un subconjunto a otro (más de 25%), se debe utilizar una carta estandarizada o una con límites variables.
	Número de unidades defectuosas (np)	Monitorea el número de unidades defectuosas por subgrupo (número de artículos rechazados por cada muestra inspeccionada). Se supone una distribución binomial.	Se aplica en la misma situación que la carta p. pero con el tamaño de subgrupo constate. Es más fácil graficar los puntos en la carta al estar trabajando con números enteros.	El valor de n debe ser constante y en cuanto a su tamaño se aplican los mismos criterios que en la carta p.	Aplican las dos primeras observaciones para la carta p. Cuando n crece, la sensibilidad o potencial de la carta para detectar cambios es mayor.
	Número de defectos (c)	Analiza el número de defectos por subgrupo o unidad, ésta puede ser un artículo o un lote, una medida de longitud o de tiempo, una medida de área o volumen. Se supone una distribución de Poisson	Uno de sus usos es en puntos de inspección, donde se busca localizar uno o más tipos de defectos relativamente menores, de tal forma que aunque se encuentren defectos, el	El tamaño de subgrupo o unidad es constante. De ser posible se elige de tal forma que el número promedio de defectos por subgrupo (línea central) sea,	Si en cada subgrupo se esperan cero o muy pocos defectos, mucho menos que nueve, usualmente la carta no es efectiva. En esos casos, se debe buscar un incremento en el

			artículo no se rechaza. También se usa para variables como número de quejas, de errores, de paros, de clientes, entre otros.	mayor que nueve.	tamaño de subgrupo u otras alternativas
	Número promedio de defectos por unidad (u)	Monitorea el número promedio de defectos por artículo o unidad inspeccionada. Se supone una distribución de Poisson.	Igual que la carta c, pero aquí se prefiere analizar el número promedio de defectos por artículo o unidad, en lugar del número por subgrupo.	El tamaño de subgrupo puede ser constante o variable, pero siempre está conformado por varias unidades de referencia p artículos. Buscar que n cumpla que $n > \frac{9}{u}$	Si n es mucho menor que el número recomendado, la carta u suele no ser útil. En esos casos, buscar incrementar n, o utilizar otra carta de control.

Tabla 2.10. Tipos de Cartas de Control. Fuente. Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

2.12 EQUIPO SEIS SIGMA

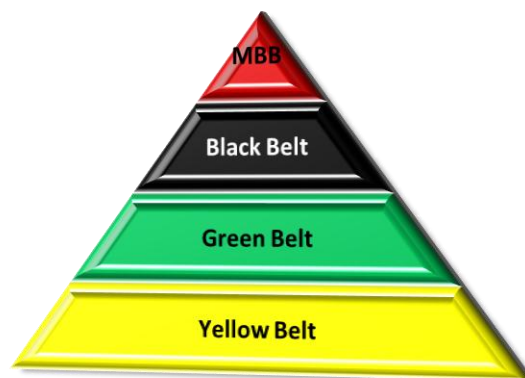
Uno de los aspectos fundamentales en el éxito de un programa Seis Sigma es la selección de los proyectos y la formación del equipo que atenderá cada proyecto. Ya que en un proyecto Seis Sigma se aborda un problema o una situación que se desconoce si se va a poder encontrar la solución, es importante seleccionar proyectos adecuados y asignar la gente apropiada.

Algunos roles que se desempeñan en Seis Sigma, han sido tomados de las artes marciales, que de alguna manera reflejan el nivel de compromiso y dedicación. Los roles que usualmente se reconocen dentro de los programas Seis Sigma son:

- **Líder de Seis Sigma.** Es el ejecutivo de más alto rango, su responsabilidad es desarrollar, encauzar y pernear la filosofía de Seis Sigma.

- **Líder de implementación.** Este papel puede tener varios nombres: vicepresidente de Seis Sigma, director ejecutivo de Seis Sigma. Su responsabilidad es la dirección ejecutiva de la iniciativa Seis Sigma. Debe ser profesional con experiencia en la mejora empresarial, en calidad y ser respetado por su gran experiencia en la empresa.
- **Champions (campeones o patrocinadores).** Estos se designan entre los líderes de cada negocio. Ellos son los responsables de garantizar el éxito de la implementación Seis Sigma en su propia área de influencia.
- **Máster Black Belts (MBB - Maestros cinta negra).** Son expertos de tiempo completo, capacitados en las herramientas y tácticas de Seis Sigma, son responsables del desarrollo e implementación de Seis Sigma para el negocio. Son encargados de facilitar y conducir el trabajo de los Black Belts y Green Belts.
- **Black Belts (BB-Cintas negras).** Son líderes de equipos responsables de medir, analizar, mejorar y controlar procesos que afecten la satisfacción del cliente, la productividad y calidad. Son el recurso de tiempo completo que tiene la organización y se focalizan en liderar y facilitar el desarrollo y termino de los proyectos. Los Black Belt (BB) juegan varios papeles, sin embargo su papel más importante es: ayudar a las personas de la organización materializar las oportunidades de mejora que se haya detectado; ayudar en la reducción de los defectos o problemas que se abordarán a través de los proyectos Seis Sigma y finalmente proporcionar la dirección y orientación a los equipos de proyecto para el desarrollo de técnicas de resolución de problemas.
- **Green Belts (GB-cintas verdes).** Son ayudantes de una cinta negra, ellos ayudan a los BB a complementar los proyectos y a mantener los logros. Realizan también actividades claves en las fases preliminares del proyecto para la exploración y tratamiento inicial de los datos y participación activa en las actividades de las fases de control con el desarrollo de métodos y entrenamiento operacional.
- **Yellow Belts (YB-cintas amarillas).** Son personas que están en el camino de los problemas, por lo que su percepción de estos es directa, pero es gente que tiene motivación, conocimientos y voluntad para el cambio.

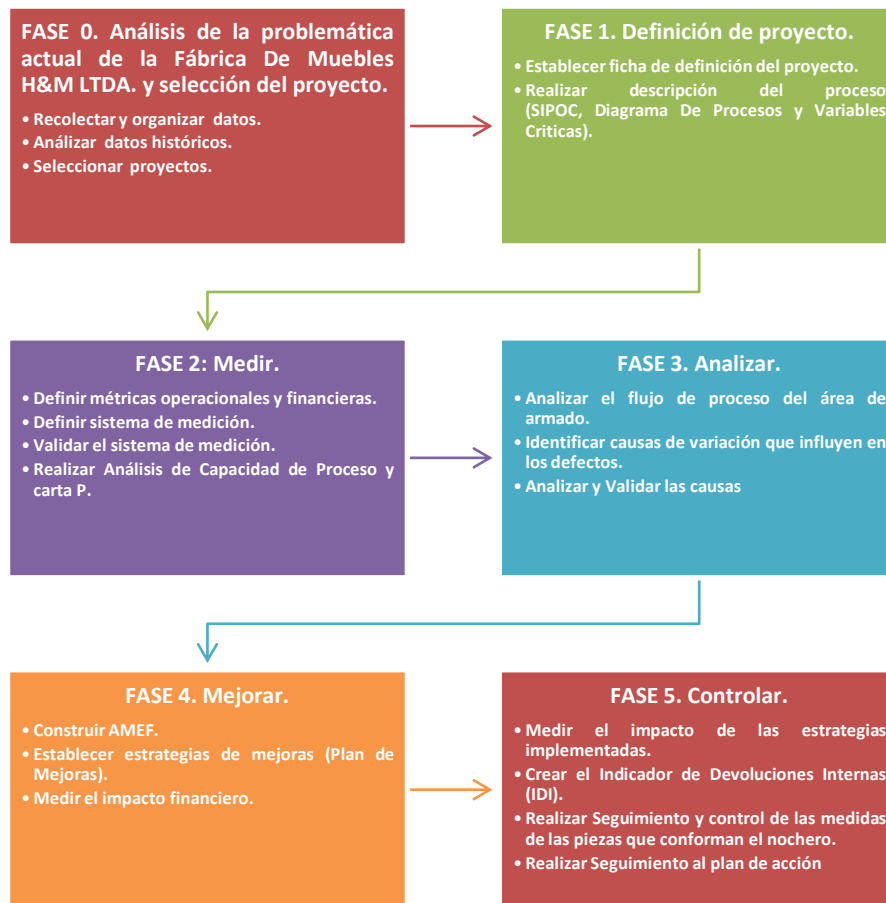
Figura 2.16. Estructura de Seis Sigma.



CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SEIS SIGMA

METODOLOGÍA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO SEIS SIGMA EN LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA.

Figura 3.1. Fases de implementación de la metodología de Seis Sigma.



3.1 FASE 0. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA. Y SELECCIÓN DEL PROYECTO

3.1.1 Se debe recolectar y organizar los datos históricos de servicios por problemas o causales en cada etapa del proceso.

3.1.2 Analizar los datos históricos de servicios:

- a) Diagrama de Pareto por referencia
- b) Diagrama de Pareto por causales
- c) Análisis de costos Vs tiempo de reparaciones

3.1.3 Selección de proyecto:

- a) Diseñar una matriz de selección de proyecto, donde se evalúan los siguientes criterios:
 - Costo de calidad.
 - Impacto del cliente.
 - Complejidad del proyecto.
 - Inversión del proyecto.
 - Frecuencia.
 - Confiabilidad de los sistemas de medición

3.2 FASE 1. DEFINICIÓN DE PROYECTO

3.2.1 Establecer la ficha de definición del proyecto, teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Título/propósito
- Objetivo
- Métrica operacional y métrica financiera
- Estado actual y objetivo de las métricas
- Declaración del problema
- Área o departamento de la empresa donde estará enfocado el proyecto
- Alcance del proyecto
- Equipo Seis Sigma

- 3.2.2 Realizar descripción de las etapa, proveedores, materia prima que intervienen en el proceso de fabricación de muebles de madera, utilizando las siguientes herramientas:
- a) SIPOC
 - b) Diagrama de Proceso
 - c) Variables críticas identificadas en cada una de las etapas del proceso.

3.3 FASE 2: MEDIR

3.3.1 Definir Métricas:

- a) Definir métricas operacionales y explicar su sistema de medición.
- b) Definir métricas financieras y explicar su sistema de medición.

3.3.2 Definir el sistema de medición a utilizar para determinar los problemas que generan altos reclamos por productos defectuosos.

- a) Crear formatos para medir las devoluciones internas en cada uno de los procesos.
- b) Recopilar y tabular los resultados.

3.3.3 Validar el sistema de medición:

- a) Evaluar los criterios de evaluación de los diferentes inspectores con los que cuenta la empresa.
- b) Realizar un análisis de concordancia por atributos de los criterios de evaluación de los inspectores. Analizar los siguientes puntos:

I. Estadísticas de Kappa de Fleiss

II. Gráfica de análisis de concordancia por atributos.

- c) Recomendaciones de mejoras del sistema de medición.

3.3.4 Realizar un análisis de capacidad de proceso según el tipo de dato que se tenga, para establecer la situación actual del proceso

- a) Análisis de capacidad de proceso armado y gráfica P.
- b) Análisis de capacidad de proceso armado y gráfica P sin datos atípicos.

3.4 FASE 3. ANALIZAR

3.4.1 Análisis del flujo de proceso del área de Armado.

- a) Identificar las causales que generan los problemas de armado (diagrama de Pareto).

3.4.2 Identificar causas de variación que influyen en los defectos en el proceso de armado (Diagrama de Ishikawa).

3.4.3 Analizar y validar las causas:

- a) Matriz Causa Efecto
- b) Diseñar experimento para medir la variabilidad de las mediciones de las diferentes piezas resultantes.
- c) Analizar influencia de la variabilidad de las medidas con los problemas generados en el proceso de armado (Pruebas de hipótesis, ANOVA, desviación estándar, varianza, media, gráfico de cajas, histogramas, entre otros).

3.5 FASE 4. MEJORAR

3.5.1 Realizar un análisis de modo y falla (AMEF), describiendo cada una de las siguientes características:

- | | |
|----------------------|----------------------|
| - Modo de falla | - Frecuencia |
| - Efecto | - Controles |
| - Severidad | - Nivel de detección |
| - Causas potenciales | - Acciones tomadas |

3.5.2 Establecer estrategias de mejoras:

- a) Planes de acción.

3.5.3 Medir impacto financiero:

- a) Estimar el costo de reparación de un nochero o gaveta en el proceso de armado de acuerdo al porcentaje de rechazo semanal
- b) Estimar el impacto financiero del proyecto

3.6 FASE 5. CONTROLAR

3.6.1 Medir el impacto de las estrategias implementadas y presentar un nuevo análisis de capacidad de proceso y compararlo con la situación actual

3.6.2 Creación e implementación de indicadores de devoluciones internas de calidad.

3.6.3 Seguimiento de planes de acción.

3.6.4. Seguimiento y control de medidas en los procesos de armado y corte.

3.6.5. Cierre del Proyecto

CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE SEIS SIGMA

4.1 FASE 0. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA FÁBRICA DE MUEBLES H&M LTDA Y SELECCIÓN DE PROYECTOS

Antes de seleccionar el proyecto con el que se realizará la implementación. Debemos analizar la problemática actual de los servicios presentados durante un período determinado, para lograr identificar aquellos problemas o causales de reclamos que se presentan con mayor frecuencia.

4.1.1 Recolección y organización de los datos

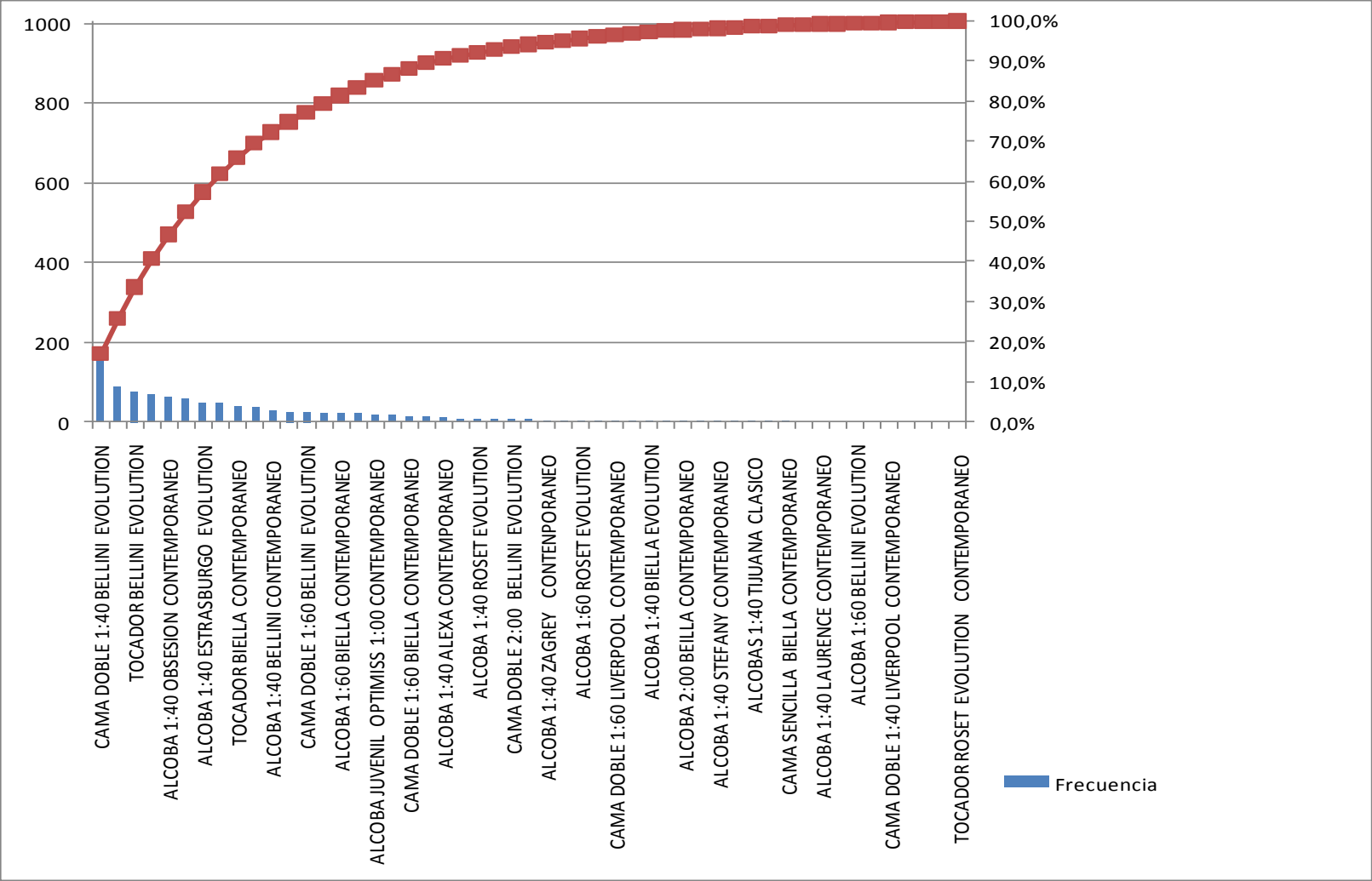
Para esto, se revisaron todos los casos de reclamos generados durante el periodo de Enero del 2011 hasta el mes de Abril 2012; los cuales se clasificaron por problemas de pintura, armado, secado, empaque, plaga, defecto en vidrio, tendido, mal reparada en taller, óxido, entre otros; además de lograr identificar en que productos se están presentado estos servicios. (Véase ANEXO 1)

4.1.2 Análisis de datos

Luego de tener nuestra información organizada, podemos proceder a utilizar diagramas de Pareto y Gráficos de barras para determinar aquellos problemas que son muy importantes. Estos problemas, deben tratarse de manera inmediata y evaluar su comportamiento, comparar los datos entre el "antes" y el "después". Para este proyecto, se utilizaron dos Paretos (Productos – Problemas) y un Gráfico Línea de Costo Vs Tiempo de reparaciones, para el análisis de la problemática actual de la empresa:

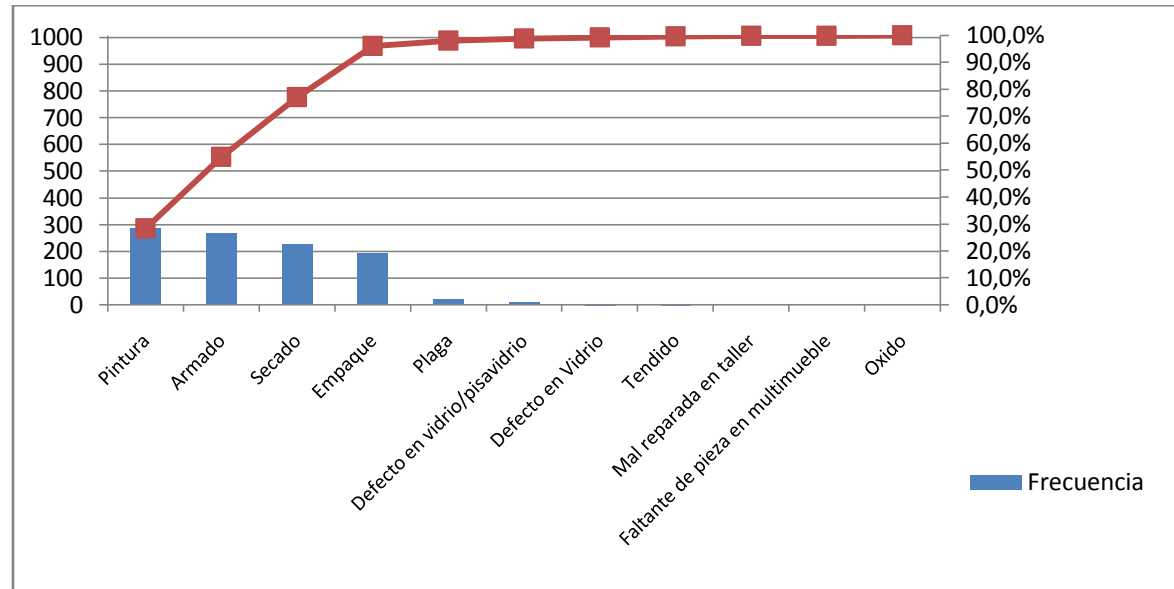
a) Diagrama de Pareto de referencias (productos). En el siguiente diagrama de Pareto, se grafican todas las referencias que se fabrican y que de acuerdo a la frecuencia presentada en los casos de reclamos, obtenemos aquellos productos que están presentando la mayor cantidad de reclamos en un periodo de tiempo.

Figura 4.1. Diagrama de Pareto por referencia.



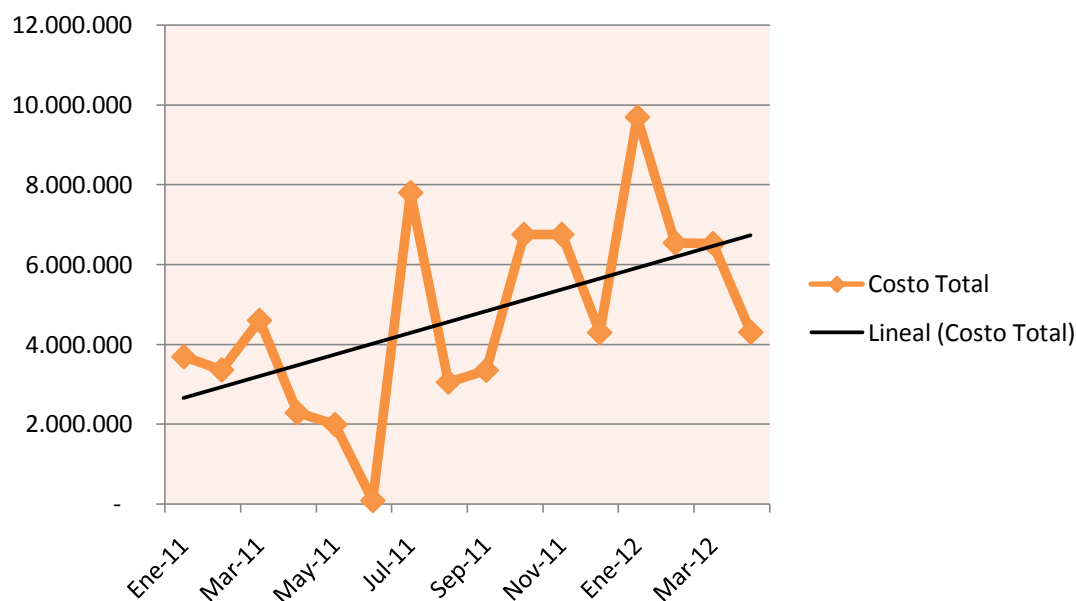
b) Diagrama de Pareto por causales (Problemas). En el segundo diagrama de Pareto, se graficaron las diferentes causales identificadas en la recolección de datos y sus respectivas frecuencias con las que se presentan en los reclamos por los clientes.

Figura 4.2. Diagrama de Pareto por causales.



c) Gráfico lineal de Costo Vs Tiempo de reparaciones. Por último, en el gráfico de línea, encontramos el comportamiento de lo que cuesta reparar los defectos encontrados en los productos por mes. Teniendo en cuenta la gráfica del costo de reparar Vs el tiempo de reparaciones, podemos concluir que éste tiene una tendencia creciente, lo cual puede afectar de forma directa a las ganancias de la empresa.

Figura 4.3. Análisis de Costos Vs Tiempo de Reparación.



Con la realización de estos diagramas de Pareto y gráfica lineal, se logró analizar y tener una idea más clara de la situación de la Fábrica de Muebles H&M Ltda., en cuanto a la generación de servicios por defectos en los productos y lo que cuesta realizar dicha reparación.

4.1.2 Selección de Proyectos

a) Diseñar matriz de selección de proyectos:

Luego de haber analizado la situación que genera mayores inconvenientes en la Fábrica de Muebles H&M Ltda., se logró identificar los problemas que originan los reclamos de clientes por servicios de calidad de los productos ofertados. Se procede a seleccionar un proyecto para la implementación de una mejora basada en la filosofía Seis Sigma. El proyecto está encaminado a resolver los problemas resultados del análisis del diagrama de Pareto por causales.

Pero, como es difícil llevar a cabo la ejecución de varios proyectos al mismo tiempo; además, si tenemos en cuenta que un proyecto Seis Sigmas debe reflejar resultados por lo menos en seis meses. Se toma la decisión de evaluar cada uno de los problemas que pueden ser un proyecto de mejora en el proceso de la fabricación de alcobas. Para esta evaluación se tienen en cuenta diferentes criterios de valoración, los cuales son:

- Costo de calidad.
- Impacto del cliente.
- Complejidad.

- Inversión del proyecto.
- Frecuencia.
- Confiabilidad de los sistemas de medición.

Como en toda evaluación se necesitan escalas de calificación, se creó una escala de valoración para cada uno de los criterios, los cuales nos van a mostrar el impacto de cada uno de estos criterios en los posibles proyectos. Asimismo, necesitamos darle un peso a cada uno de estos criterios de acuerdo a los requerimientos de la empresa, es decir, qué criterios son más importantes para la empresa en el momento de la selección de un proyecto, cabe anotar que la suma de estos porcentajes de impacto no puede ser mayor al 100%.

A continuación, se puede observar las escalas de evaluación que se utilizaron para calificar cada uno de los criterios en la selección de proyecto. Seguidamente la matriz resultante de la selección. Es importante aclarar, que en esta evaluación hicieron participe personal de la empresa y el equipo de Seis Sigma.

Tabla 4.1. Criterios para selección de proyecto

EVALUACIÓN IMPACTO DEL CLIENTE		EVALUACIÓN DE INVERSIÓN DEL PROYECTO		COMPLEJIDAD	
9	Muy importante	9	Económico	9	Baja
5	Medianamente importante	5	Medianamente costoso	5	Media
1	No importante	1	Muy costoso	1	Alta

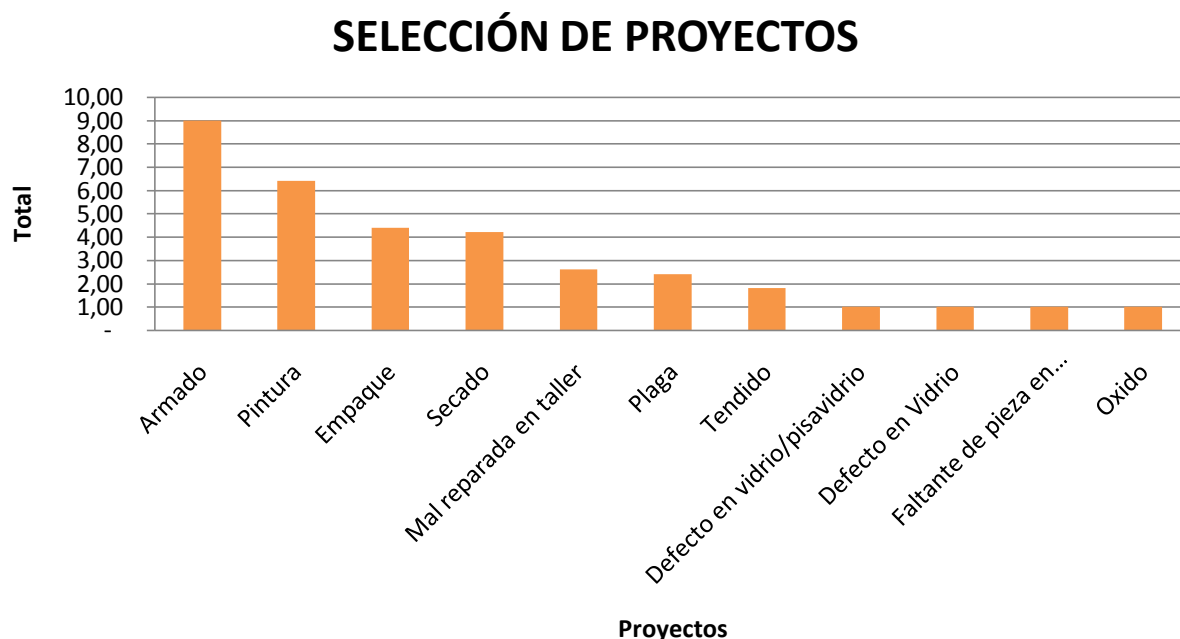
CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN		COSTO DE CALIDAD		FRECUENCIA	
9	Alta	9	Alto	9	Alta
5	Media	5	Medio	5	Media
1	Baja	1	Bajo	1	Baja

Tabla 4.2. Matriz de selección de proyecto.

Selección de Proyectos							
	20%	20%	15%	25%	10%	10%	
Proyectos	Criterios de evaluación						Total
	Costo de calidad	Impacto del cliente	Complejidad	Inversión del Proyecto	Frecuencia	Confiabilidad de los sistemas de medición	
Armado	9	9	9	9	9	9	9,00
Pintura	9	9	1	5	9	5	6,40
Empaque	1	5	9	5	5	1	4,40
Secado	5	9	1	1	5	5	4,20
Mal reparada en taller	5	5	1	1	1	1	2,60
Plaga	1	5	5	1	1	1	2,40
Tendido	5	1	1	1	1	1	1,80
Defecto en vidrio/pisavídrio	1	1	1	1	1	1	1,00
Defecto en Vidrio	1	1	1	1	1	1	1,00
Faltante de pieza en multimueble	1	1	1	1	1	1	1,00
Oxido	1	1	1	1	1	1	1,00

El total es una sumaproducto de cada uno de los valores de calificación y el porcentaje de participación (importancia) de cada uno de los criterios. Este resultado lo podemos observar en la siguiente gráfica de barras, en la que podemos concluir que el proyecto elegido para la implementación es ARMADO.

Figura 4.4. Selección de proyecto.



4.2 FASE 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

4.2.1 Ficha de definición del proyecto

En esta fase de definición se define el proyecto sobre el cual se desea trabajar, precisando por qué se hace, los beneficios esperados, se delimita y se sientan las bases; es decir, los objetivos, alcance del proyecto, recursos a utilizar, equipo de trabajo, y las métricas operacionales y financieras con las que se medirá su éxito.

El primer paso para obtener un proyecto exitoso será la selección adecuada de éste. En la fase anterior se explicaron las estrategias utilizadas para la selección de nuestro proyecto y en el cual se concluyó, que los diferentes problemas del área de armado son de vital importancia sin excluir los demás en la disminución del porcentaje de rechazo por defectos, siendo esto prioridad en la implementación de mejoras basadas en la filosofía de calidad Seis Sigma.

Seguidamente, se procede a establecer el marco del proyecto con ayuda de una ficha. De tal forma que a través de esta quede claro de que trata el proyecto, los involucrados, los beneficios esperados y las métricas con las cuales se realizará seguimiento a los resultados. En la Tabla 4.3 se muestra la ficha de definición del proyecto Seis Sigma.

Tabla 4.3. Ficha de definición de proyecto.

MARCO DEL PROYECTO SEIS SIGMA 2012		FECHA: 20 DE JUNIO
Título/Propósito: Disminución del porcentaje de rechazo por problemas en el área de armado en la Fábrica de Muebles H&M Ltda.		
Declaración del problema: En los últimos meses, el principal reclamo de nuestro cliente está relacionado con la calidad de los productos, generando así altos índices de rechazos en su gran mayoría por problemas de armado. Este indicador se mide bajo el porcentaje de rechazos de productos (número de piezas rechazadas/número piezas inspeccionadas). Actualmente estos problemas de armado se presentan con una frecuencia del 26,5%, causando que los indicadores de calidad de la empresa aumenten de manera significativa, desmejorando así la percepción del cliente. Al lograr una disminución en el porcentaje de rechazo por problemas en el área de armado la Fábrica de Muebles H&M Ltda., percibirá una reducción del 13% del costo de reparación de los productos.		
Objetivo: Disminuir el porcentaje de rechazo por problemas en el área de armado.		
Alcance: El proyecto se limita a darle solución a la causa raíz o causas raíces que generan los diferentes problemas presentados en el área de armado.		
Equipo=Champion: Hugo Vergara (Gerente); Black Belt: Ing. Heriberto Felizzola; Green Belt: Elkin Martínez, Wilson Sarmiento y Karen Vergara.		
Recursos/ Áreas de trabajo en la empresa: Área de corte y Área de armado		
Métricas Operacionales:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Porcentaje de rechazo de productos por problemas de armado. ▪ Número de servicios por problemas de armado 		
Métricas financieras: Costo de reparar un producto o una pieza por defecto en el área de armado.		
Métricas Seis Sigma (DPO, DPU, DPMO y nivel sigma):		
Actual		Objetivo:
DPU=20,21%		DPU=6,7%
DPO=20,21%		DPO=6.7%
DPMO=202.100		DPMO=66.807
NIVEL SIGMA= 2		NIVEL SIGMA= 3
Fecha de Inicio del proyecto: 20 de Junio 2012		

4.2.2 Descripción del proceso

Los procesos productivos son una secuencia de actividades requeridas para elaborar una alcoba. Generalmente, existen varios caminos que se pueden tomar para producir un producto. Pero la correcta consecución de cada uno de sus pasos y la secuencia de ellos nos ayudarán a lograr los principales objetivos de producción:

- Costos (eficiencia)
- Calidad
- Confiabilidad
- Flexibilidad

Con lo anterior, radica la importancia de conocer desde un principio el proceso de la fabricación de alcobas y todas las variables involucradas en él, tales como: proveedores, materia prima, maquinaria, el cliente interno y externo, procedimientos, tiempos de producción, método, demanda, productos. Con esta información se tendrán bases más fuertes en la toma de decisiones.

Las herramientas utilizadas con el fin de obtener información de los procesos productivo de la Fábrica de Muebles H&M Ltda., son:

- SIPOC
- Diagrama de procesos.
- Variables críticas del proceso (corte, armado, preparación, pintura, despacho y variables de descripción del proceso en general).

a) **SIPOC:** Esta herramienta generalmente se usa durante la fase de definición de un proyecto y de mejora de procesos, ya que nos permite entender claramente el propósito y el alcance de un proceso. En el SIPOC logramos identificar los proveedores, entradas, proceso, salidas o productos y clientes que intervienen en la fabricación de alcobas.

SIPOC

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Proveedor de madera	Madera (Roble)	Fabricación de Alcobas (Secado, Corte, Pulido, Ensamble, Preparación, Pintura y Empaque)	Calidad de las piezas y/o componentes del mueble	Áreas subsiguientes al proceso (Stakeholders)
Proveedor de insumos de carpintería	Herramientas de corte		Diferentes diseños de alcobas	Muebles Jamar
Proveedor de pinturas	Tinte		Tiempo de procesamiento	Cliente final (compradores de Muebles Jamar)
Proveedor de productos químicos	Lijas o Bandas		Tiempo de entrega del producto final	
Proveedor de accesorios	Adhesivos			
Proveedor de material de empaque	Clavillos, Tornillos, Herrajes			
Proveedor de maquinaria y herramientas	Sellador M40 y Catalizado			
	Pinturas (tintilla, acabado, poliuretano)			
	Thinner			
	Materiales metálicos pre-fabricados			
	Cartón			
	Manijas, Botones Metálicos			

Tabla 4.4 SIPOC

b) DIAGRAMA DE PROCESOS:

Esta herramienta nos permite comprender el procedimiento o método en la fabricación de una alcoba. Es muy importante comprender que cada paso en el proceso crea relaciones o dependencias entre unos y otros para lograr la realización del trabajo. Cada paso del proceso depende de entrada de materia prima, tiempo, dimensiones, recursos, entre otros. (Véase el diagrama de procesos en el ANEXO 2).

c) VARIABLES CRÍTICAS DEL PROCESO:

Es importante identificar aquellas variables críticas en los procesos de producción, que pueden afectar el proceso. Cabe anotar que una variable crítica es una causa de “descontrol” del proceso y se manifiesta directamente en las satisfacciones del cliente tanto interno como externo.

Tabla 4.5 Variables Críticas del Proceso

Variables Críticas del Proceso de Corte
1. Humedad de la madera
2. Diseño de piezas para corte
3. Calidad herramientas de corte
4. Proceso inadecuado de corte
5. Conocimiento del operario de corte
6. Calidad de la madera
7. Experiencia del operador de corte
8. Estandarización del proceso de corte
11. Mantenimiento herramientas de corte
12. Fatiga
13. Equipos de medición inadecuados, o dañados
14. Ergonomía del puesto de trabajo
15. Temperatura ambiental
16. Estrés
17. Problemas familiares
18. Fallas en mantenimiento de la maquinaria
19. Falta de procedimiento de corte
20. Herramientas inadecuadas
21. Iluminación inadecuada.
22. Plantillas para trazado
23. Falta de seguridad en el proceso de corte

Variables Críticas del Proceso de Pulido
1. Experiencia operario de lijado
2. Estándar proceso de lijado
3. Estado herramienta de pulido
4. Ciclo de uso de insumos para lijado
5. Mantenimiento herramientas de pulido
6. Calidad insumos para proceso de pulido
7. Estrés
8. Problemas familiares
9. Falta de procedimiento para pulido
10. Conocimiento del operario de pulido
11. Fatiga
12. Ergonomía del puesto de trabajo
13. Temperatura ambiental.
14. Iluminación inadecuada.

Variables Críticas del Proceso de Empaque
1. Condiciones del embalaje
2. Tratamiento del mueble en el empaque
3. Tipo de embalaje
4. Experiencia operario de empaque
5. Manejo de elementos y dispositivos para proceso de empaque
6. Orden y limpieza en zona de empaque
7. Buen manejo de los insumos de los materiales
8. Revisión del estado del mueble antes de empacar
9. Cuidado en el momento de cargue y descargue de la mercancía
10. Falta de procedimiento para realizar el empaque del producto.
11. Falta de procedimiento para realizar el armado del mueble.

Variables Críticas del Proceso General
1. Falta de mantenimiento de instalaciones
2. Diseño inadecuado de instalaciones
3. Distribución de áreas de trabajo
4. Orden y limpieza
5. Ubicación de equipos y herramientas
5. Falta de capacitación
6. Condiciones de seguridad
7. Condiciones de confort
8. Motivación del personal
9. Actitud del trabajador
10. Falta de herramientas

11. Documentación del proceso
12. Existencia de procedimientos

Variable Críticas del Proceso de Armado
1. Utilización de dispositivos para el ensamble
2. Conocimiento y experiencia del operario de ensamble
3. Insumos de ensambles adecuados
4. Tiempo de secado pegantes
5. Herramientas adecuadas para el proceso de armado
6. Ergonomía del área.
7. Estandarización de procesos de armado
8. Falta de orden en el área de trabajo
9. Utilización de cartas de producción y explosión de los productos para el proceso de ensamble
10. Mantenimiento de herramientas de ensamble
11. Condiciones del puesto de trabajo
12. Utilización de sistemas de prensado para agilizar el secado de pegantes
13. Falta de iluminación.
14. Mal uso de los instrumentos de medición.
15. Inconformidad con la materia prima. No cumple especificaciones de medidas.
16. Equipos de medición, inadecuados, o dañados

Variable Críticas del Proceso de Preparación y Pintura
1. Calidad de insumos de pintura
2. Insumos químicos adecuados
3. Cantidades de insumos necesarios para preparación
4. Homogeneidad de las pinturas sellantes
5. Falta de orden en el área de trabajo
6. Calidad insumos para preparación
7. Experiencia y conocimientos de operarios de preparación
8. Experiencia y conocimientos de operarios de pintura
9. Cantidad de pintura utilizada
10. Condiciones de operación de los equipos de pintura y preparación
11. Calidad y mantenimiento de equipos para preparación y pintura
12. Uniformidad en el proceso de aplicación de la pintura
13. Frecuencia de mantenimiento equipos de pintura
14. Temperatura en proceso de pintura
15. Humedad proceso de pintura
16. Estado cabinas de pintura
17. Condiciones de seguridad del trabajador en pintura

18. Condiciones cabinas de secado
19. Condiciones de aislamiento cabinas de secado
20. Tiempo de secado
21.Estado y mantenimiento de bombillas de secado
22. Condiciones de limpieza cabinas de secado
23. Temperatura cabinas de secado
24. Condiciones del lugar de trabajo
25. Omisión de procedimientos
21. Iluminación inadecuada.
26. Combinación insumos para preparación de pintura

4.3 FASE 2: MEDICIÓN DEL PROYECTO SELECCIONADO

4.3.1 Definir Métricas

a) Definir la métrica operacional y explicar su sistema de medición:

En este proyecto en particular puede definirse la métrica operacional como el porcentaje de rechazo de productos por problemas de armado, además de poder realizar seguimiento mediante el número de servicios por problemas de armado.

Este porcentaje se mide mediante la relación del número de piezas rechazadas por problemas del proceso de armado y el número de piezas inspeccionadas en este.

$$\% \text{ de rechazo} = \frac{\text{número de piezas rechazadas}}{\text{número de piezas inspeccionadas}} * 100$$

Esta información se obtiene al recolectar los datos de devoluciones en el proceso de armado; donde se inspeccionan todas aquellas piezas que pertenecen a la producción del día y mediante un formulario se anota la cantidad de piezas inspeccionadas, rechazadas y la respectiva causal que generó dicha devolución.

Por otro lado el número de servicios por problemas de armado lo obtenemos de la información generada de los reclamos realizados por los clientes de Muebles Jamar.

b) Definir la métrica financiera y su sistema de medición

En el desarrollo del proyecto es importante tener en cuenta la métrica financiera, la cual nos permitirá medir los resultados en términos económicos debido a la implementación de la metodología Seis Sigma. Para este proyecto, esta métrica en particular se mide mediante el

costo de reparar un producto o una pieza por defecto en el área de armado. Para obtener este costo, se debe calcular cuánto nos cuesta en términos de mano de obra, materiales, tiempo en reparar una pieza defectuosa.

Métrica financiera = costo de reparar una pieza por defecto en el área de armado

Costo de reparar una pieza = costo de mano de obra + costo indirectos de fabricación + costo de materia prima

4.3.2 Definir sistema de medición

Se diseñó un sistema de medición para establecer indicadores de calidad o devoluciones internas semanales en el área de armado. Este sistema nos permite hacer seguimiento y control de los problemas que se presenten en esta área y a la vez determinar los respectivos planes de acción. Para ello fue necesario el diseño del siguiente formato:

a) Formatos de devoluciones interna:

Para la toma de los datos fue necesario crear un formato donde encontraremos los siguientes ítems (Véase en el ANEXO 3):

- Identificación de la empresa.
- Área de producción en la cual se está realizando la inspección.
- El número de producción o número del lote.
- Fecha de la evaluación.
- Cantidad inspeccionada.
- Cantidad rechazada.
- Causales de devolución.
- Productos inspeccionados.

b) Recopilación y tabulación de resultados:

Luego de haber recolectado los resultados de las inspecciones del área de producción, esta es tabulada de tal forma que nos facilite el análisis y el cálculo de los datos necesarios para realizar los diferentes diagramas de Pareto e identificar aquellas causales que más nos está generando devoluciones internas y que afectan directamente a nuestro cliente final.

Tabla 4.6 Recopilación y tabulación de los resultados.

FABRICA DE MUEBLES



DEVOLUCIONES INTERNAS

No	sem	Area	Producto	cantidad inspeccionada	Cantidad rechazada	Porcentaje	causal
1	30	Armado	Piecero Volvo 1,40 cont	21	9	43%	Clavos visibles
2	30	Armado	Pieceros Volvo 1,60 cont	6	6	100%	Clavos visibles
3	30	Armado	Pieceros Volvo 2x2 Cont	5	5	100%	Clavos visibles
4	30	Armado	Cabacero Volvo 1,40 cont	23	3	13%	Clavos visibles
5	30	Armado	Piecero Volvo 1,40 cont	23	3	13%	Clavos visibles
6	30	Armado	Piecero Volvo 2x2 cont	5	1	20%	Falto lijado
7	30	Armado	Cabecero Roset evolution 1,40	17	3	18%	Clavos visibles
8	30	Armado	Cabecero Roset evolution 1,40	17	1	6%	Exceso de Pegante
9	30	Armado	Nochero Volvo 1,40 cont	4	1	25%	Gavetas defectuosas

En la tabla 4.6, se organiza la información entregada por cada uno de los inspectores. Se identifica el número de inspecciones que se realizan, la semana correspondiente a la evaluación, el tipo de producto y cantidad de piezas inspeccionada. Además, el número de piezas rechazadas (frecuencia) en cada una de las inspecciones, el porcentaje de rechazo (cantidad de piezas rechazadas/cantidad de piezas inspeccionadas*100) y por último, anotamos el motivo de cada devolución, los cuales son la causales que se desean identificar. Esta información nos facilita la creación de un diagrama de Pareto por causales de armado, que nos será de gran ayuda en el análisis y validación de las causas.

4.3.3 Validar el sistema de medición (Análisis de concordancia para atributos)

Es importante tener en cuenta que los estudios R&R se evalúan de modo experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide. Cabe anotar que para este análisis de consistencia de los criterios de los operarios se aplica un estudio R&R para atributos, debido a que las evaluaciones son subjetivas; estas se clasifican en dos categorías de las cuales las más común es: se aceptan o rechazan con base en una apreciación basada en los sentidos.

a) Evaluar los criterios de evaluación de los diferentes inspectores:

Para analizar y validar el sistema de medición, hicieron parte en este proceso tres operarios (op1, op2, op3), donde cada operario realizó la evaluación de 30 piezas en dos muestras con una diferencia de 2 horas. Estas piezas fueron seleccionadas de manera aleatoria de un lote de producción y fueron marcadas de manera que los inspectores no supieran que número de pieza se evaluaba. Esto se hace con el objetivo de garantizar la efectividad del ejercicio.

En la siguiente tabla 4.7, se ilustra los resultados de la evaluación, cuando el operario rechaza la pieza se coloca 0 y de lo contrario 1 si se aceptan las piezas (Escala binaria).

Tabla 4.7. Validación del sistema de medición.

Número de Parte	Muestra 1			Muestra 2		
	Op1	Op2	Op3	Op1	Op2	Op3
1	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	1
3	0	1	0	1	0	0
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	0	1	1
6	1	1	0	1	0	0
7	1	1	0	1	1	0
8	1	0	1	1	1	1
9	1	1	0	1	1	0
10	0	1	1	0	1	1
11	0	1	1	0	1	1
12	1	1	1	1	1	1
13	1	1	0	1	1	0
14	1	0	1	1	1	0
15	1	1	1	1	1	0
16	1	1	1	1	1	1
17	1	1	0	1	1	0
18	1	0	0	1	0	0
19	1	1	1	0	1	0
20	1	1	0	1	0	1
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	1	1	0	1	1	0
24	1	0	0	1	0	0
25	1	1	1	1	0	1
26	0	0	0	1	0	1
27	0	0	0	0	0	0
28	1	1	1	0	1	1
29	1	0	0	1	0	0
30	1	0	0	1	0	0
Total	21	19	13	20	16	12

b) Análisis de concordancia por atributos:

Con ayuda de herramientas estadísticas (Minitab), se realiza un análisis de concordancia de atributos para evaluar la uniformidad o exactitud de las respuestas de los tres operarios sobre atributos cuando:

- Los tres evaluadores califiquen las mismas piezas (uniformidad de las respuestas de cada evaluador).
- Los tres evaluadores califiquen las piezas más de una vez (uniformidad entre diferentes evaluadores al calificar las mismas piezas en las dos muestras).

Los resultados fueron arrojados de dos formas: Individual por evaluador y entre evaluadores.

Individual por evaluador				
Acuerdo de evaluación				
Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	
1	30	25	83,33	
2	30	23	76,67	
3	30	25	83,33	
Evaluador	IC de 95%			
1	(65,28. 94,36)			
2	(57,72. 90,07)			
3	(65,28. 94,36)			
No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.				
Estadísticas Kappa de Fleiss				
Evaluador	Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z
P(vs > 0)				
1	0	0,614891	0,182574	3,36790
0,0004	1	0,614891	0,182574	3,36790
0,0004	0	0,520000	0,182574	2,84816
2	1	0,520000	0,182574	2,84816
0,0022	0	0,657143	0,182574	3,59932
0,0002	1	0,657143	0,182574	3,59932
0,0002				
Transformación de Box-Cox				
Evaluador	Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z
P(vs > 0)				
1	0	0,615385	0,182033	3,38062
0,0004	1	0,615385	0,182033	3,38062
0,0004				

2	0	0,524887	0,178749	2,93644
0,0017				
	1	0,524887	0,178749	2,93644
0,0017				
3	0	0,657534	0,182145	3,60994
0,0002				
	1	0,657534	0,182145	3,60994
0,0002				

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

Individual por evaluador

Acuerdo de evaluación

Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje
1	30	25	83,33
2	30	23	76,67
3	30	25	83,33

Evaluador	IC de 95%
1	(65,28. 94,36)
2	(57,72. 90,07)
3	(65,28. 94,36)

No. de coincidencias: El evaluador coincide consigo a través de las pruebas.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Evaluador	Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
1	0	0,614891	0,182574	3,36790	0,0004
	1	0,614891	0,182574	3,36790	0,0004
2	0	0,520000	0,182574	2,84816	0,0022
	1	0,520000	0,182574	2,84816	0,0022
3	0	0,657143	0,182574	3,59932	0,0002
	1	0,657143	0,182574	3,59932	0,0002

Transformación de Box-Cox

Evaluador	Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
1	0	0,615385	0,182033	3,38062	0,0004
	1	0,615385	0,182033	3,38062	0,0004
2	0	0,524887	0,178749	2,93644	0,0017
	1	0,524887	0,178749	2,93644	0,0017
3	0	0,657534	0,182145	3,60994	0,0002
	1	0,657534	0,182145	3,60994	0,0002

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

Entre evaluadores

Acuerdo de evaluación

No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
30	6	20,00	(7,71. 38,57)

No. de coincidencias: Todas las estimaciones de los evaluadores coinciden entre sí.

Estadísticas Kappa de Fleiss

Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
-----------	-------	-------------------------	---	-----------

0	0,210427	0,0471405	4,46384	0,0000
1	0,210427	0,0471405	4,46384	0,0000
*Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.				

Es importante entender de qué trata las estadísticas de Kappa de Fleiss para lograr comprender los resultados facilitados por Minitab.

- Estadísticas Kappa de Fleiss:

El valor Kappa representa el grado de concordancia absoluta entre las calificaciones, es decir, Kappa trata todas las clasificaciones incorrectas de igual forma, sin tomar en cuenta su magnitud.

- Interpretación de las estadísticas Kappa de Fleiss:

Utiliza los valores p para elegir entre dos hipótesis opuestas, basándose en sus datos de muestra:

- H_0 : La concordancia individual por evaluador se debe a las probabilidades.
-
- H_1 : La concordancia individual por evaluador no se debe a las probabilidades.

El valor p indica la probabilidad de obtener su muestra con su estadística kappa particular si la hipótesis nula (H_0) es verdadera. Si el valor p es menor que o igual a un nivel de significancia predeterminado (nivel α), entonces usted rechaza la hipótesis nula y obtiene apoyo para la hipótesis alternativa.

La hipótesis nula es que Kappa es igual a 0, lo cual indicaría que el nivel de concordancia es el mismo que el esperado en virtud de las probabilidades. Mientras más fuerte sea la concordancia absoluta entre las calificaciones, más alto será el valor de Kappa:

Si kappa = 1, entonces existe concordancia perfecta. Si kappa = 0, la concordancia es la misma que se esperaría en virtud de las probabilidades. Mientras más fuerte sea la concordancia, más alto será el valor de kappa. Los valores negativos ocurren cuando la concordancia es más débil que lo esperado en virtud de las probabilidades, aunque raramente ocurre. Dependiendo de la aplicación, un valor de kappa menor que 0.7 indica que el sistema de medición necesita mejorarse. Los valores de kappa mayores que 0.9 se consideran excelentes.

Ahora teniendo en claro que significa la estadística de Kappa de Fleiss, podemos analizar los resultados obtenidos tanto individuales por evaluador y entre evaluadores:

Individual por evaluador

Estadísticas Kappa de Fleiss

Evaluador	Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
1	0	0,614891	0,182574	3,36790	0,0004
	1	0,614891	0,182574	3,36790	0,0004
2	0	0,520000	0,182574	2,84816	0,0022
	1	0,520000	0,182574	2,84816	0,0022
3	0	0,657143	0,182574	3,59932	0,0002
	1	0,657143	0,182574	3,59932	0,0002

Transformación de Box-Cox

Evaluador	Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
1	0	0,615385	0,182033	3,38062	0,0004
	1	0,615385	0,182033	3,38062	0,0004
2	0	0,524887	0,178749	2,93644	0,0017
	1	0,524887	0,178749	2,93644	0,0017
3	0	0,657534	0,182145	3,60994	0,0002
	1	0,657534	0,182145	3,60994	0,0002

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

Entre evaluadores

Estadísticas Kappa de Fleiss

Respuesta	Kappa	Error estándar de Kappa	Z	P(vs > 0)
0	0,210427	0,0471405	4,46384	0,0000
1	0,210427	0,0471405	4,46384	0,0000

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

Se observa los valores de Kappa de Fleiss tanto individual por evaluador y entre evaluadores tienen un valor de menor que 0,7, lo que nos indica que el sistema de medición necesita mejorarse.

Además, el número de coincidencias entre evaluadores es muy bajo, debido a que de 30 piezas inspeccionadas solo coincidieron en 6 seis piezas con un porcentaje de 20% de concordancia.

No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje	IC de 95%
30	6	20,00	(7,71. 38,57)

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

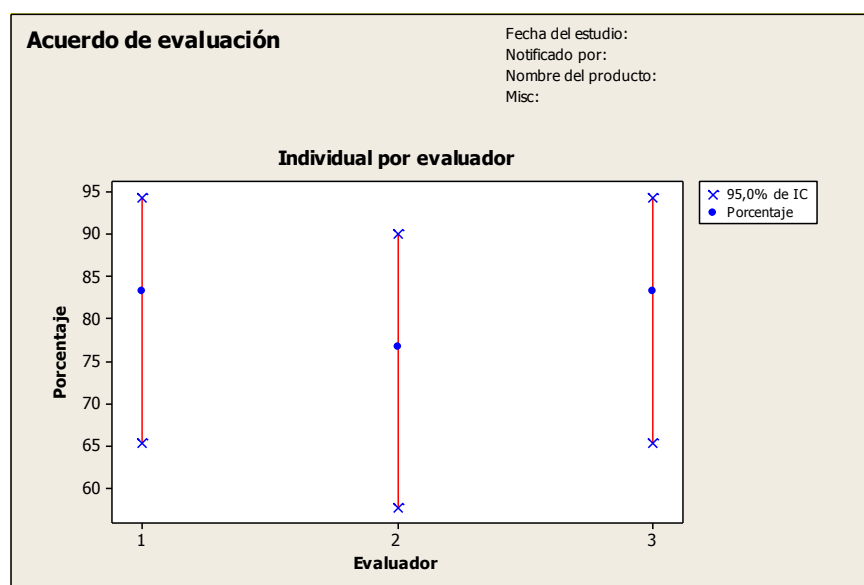
En cambio en la evaluación de individual por evaluador las coincidencias fueron altas, es decir, que de las dos muestras que se realizaron, cada uno de los inspectores mantuvieron sus criterios de evaluación.

Evaluador	No. de inspeccionados	No. de coincidencias	Porcentaje
1	30	25	83,33
2	30	23	76,67
3	30	25	83,33

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

- **Gráfica de análisis de concordancia:**

Figura 4.5. Análisis de concordancia.



En la gráfica 4.5 se muestra la concordancia de las evaluaciones individuales para cada operario, donde muestra la uniformidad de las respuestas de cada inspector. Cada gráfica cuenta con los siguientes ítems:

- Círculo azul, ofrece el porcentaje real de coincidencias.
-
- Línea roja, ofrece un intervalo de confianza de 95.0% para el porcentaje de coincidencias.
-
- X azul, ofrecen los límites inferior y superior para el intervalo de confianza de 95.0%, respectivamente.

c) Recomendaciones de mejoras en el sistema de medición

Se recomienda tener en cuenta las siguientes mejoras para el sistema de medición:

1. Estandarizar los criterios de evaluación de los diferentes inspectores con que cuenta la empresa.
2. Diseñar y establecer procedimientos para llevar a cabo la evaluación de los diferentes parámetros a tener en cuenta al momento de aceptar o rechazar un elemento.
3. Establecer patrones que permitan comparar las piezas a evaluar con piezas de referencia que contienen las características correctas que se deben revisar.
4. Utilizar instrumentos de medidas confiables como por ejemplo, la cinta métrica. De esta manera, garantizar que las decisiones que se tomen sean correctas y justificadas.

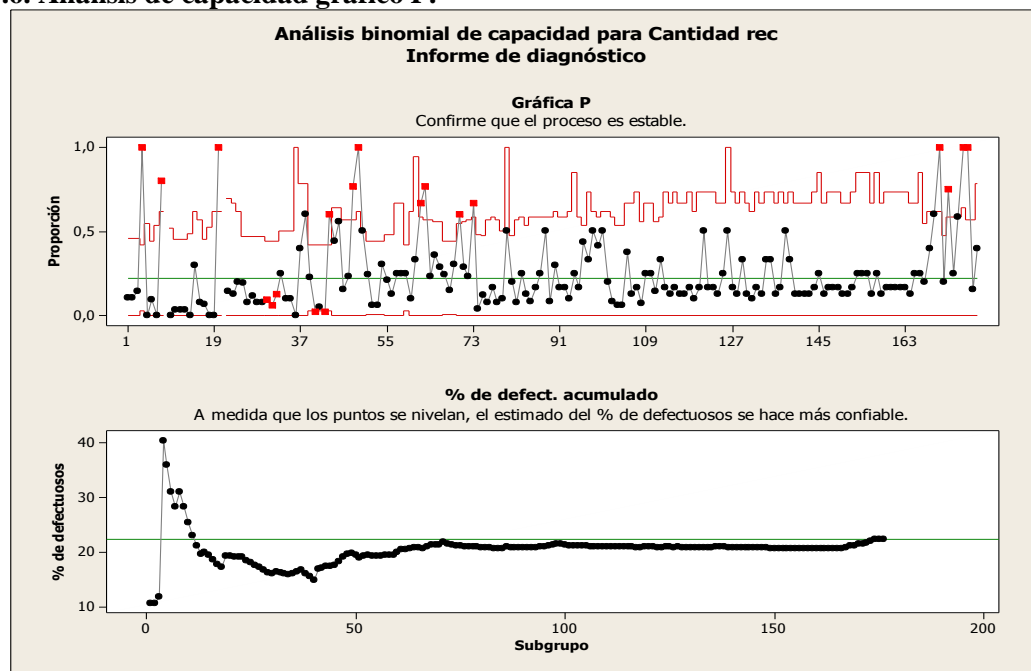
4.3.4 Análisis de capacidad de proceso

Para toda empresa es de gran importancia observar, analizar la variabilidad y el comportamiento de su proceso a través del tiempo.

Con la ayuda de una carta de control p (proporción de defectuosos), podemos determinar a través de un análisis las variaciones en la fracción o proporción de artículos defectuosos en cada una de las inspecciones realizadas. Se puede observar que el desempeño del proceso no es estable y se detectan causas especiales o datos atípicos, como lo muestran los puntos rojos. Es de vital importancia identificar las causas que conllevaron a que el proceso de armado no sea estable, se deben eliminar dichas causas y realizar nuevamente el seguimiento al comportamiento de los datos.

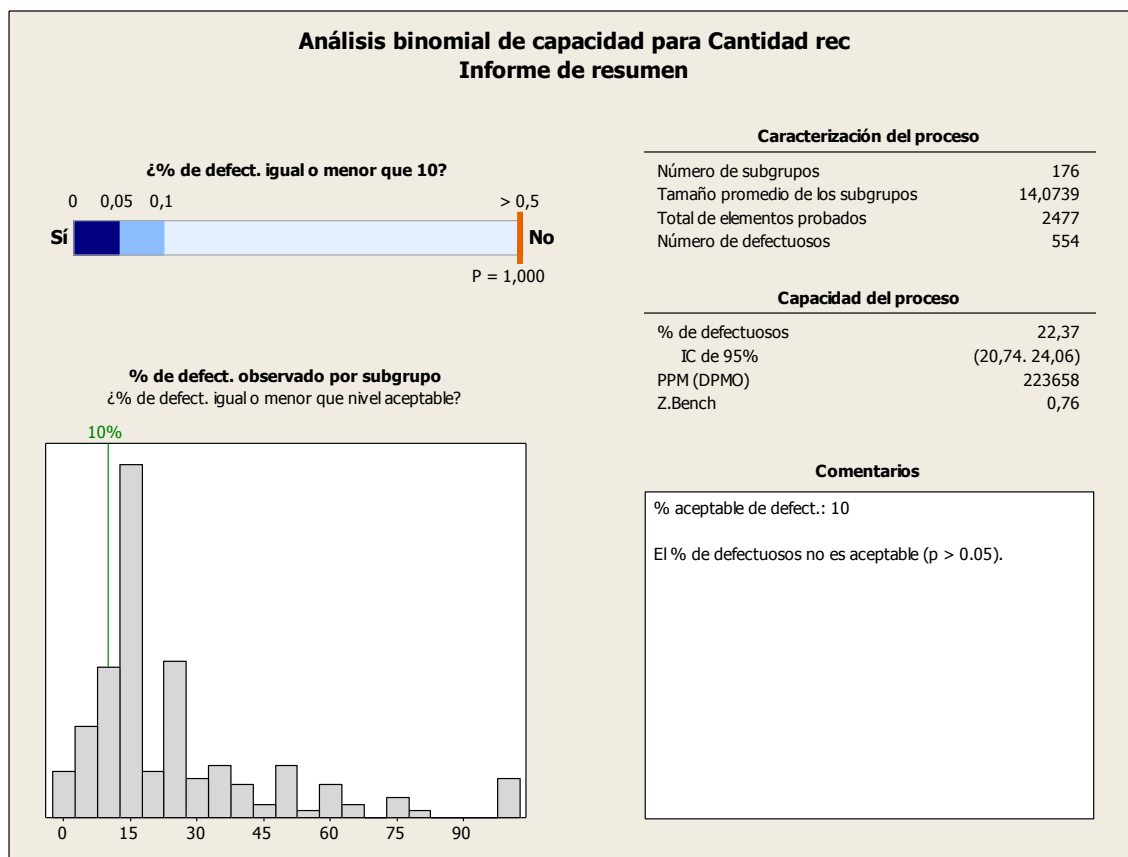
a) Análisis de capacidad de proceso armado y gráfica P:

Figura 4.6. Análisis de capacidad gráfico P.



Además, se realizó un análisis de capacidad binomial para el conjunto de datos recolectado para representar el proceso de armado, teniendo en cuenta que los elementos se clasifican en una categoría de pasa o no pasa, y de esta manera determinar la proporción de elementos defectuosos.

Figura 4.7. Análisis de capacidad binomial.



La gráfica anterior nos arroja datos relevantes, tales como:

- Métricas actuales de Seis Sigmas:

DPU=22,37%

DPO=22,37%

DPMO=223.658

NIVEL SIGMA= 2

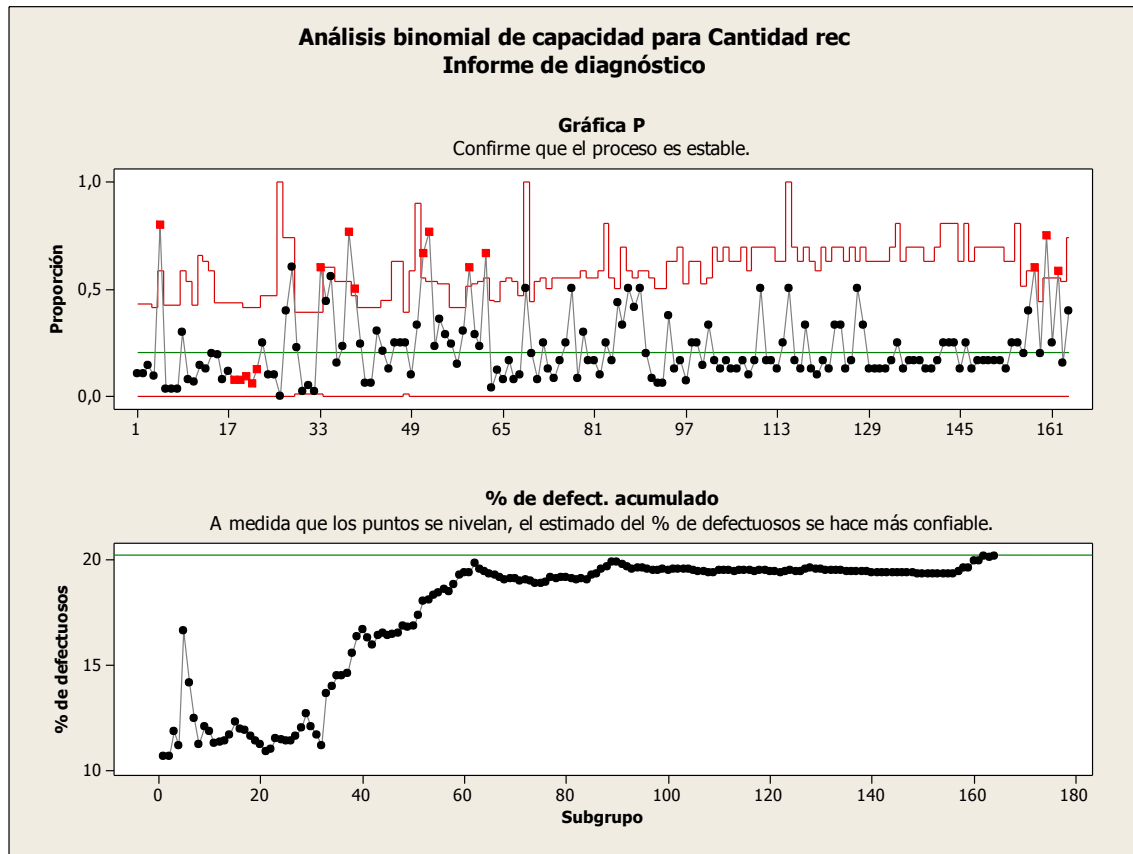
- El porcentaje de defectuosos no es aceptable ($p > 0.05$).

b) Análisis de capacidad de proceso armado y gráfica P sin datos atípicos:

Como se mencionó anteriormente, es de vital importancia detectar aquellos datos atípicos, analizar su causa y si es posible eliminarlos. Debido a esto, se tomó como criterio para eliminar aquellas causas especiales la siguiente recomendación:

“Todos los datos que sean totalizados con un porcentaje de rechazo del 0% y 100%, serán desechados”. Luego, se vuelven a graficar quedando de la siguiente forma:

Figura 4.8. Gráfico P sin datos atípicos.



Aunque existan algunos datos atípicos, se logra observar un mejor rendimiento del proceso de armado y una disminución sustancial de las métricas de Seis Sigma:

- Métricas actuales de Seis Sigmas:

DPU=20,21%

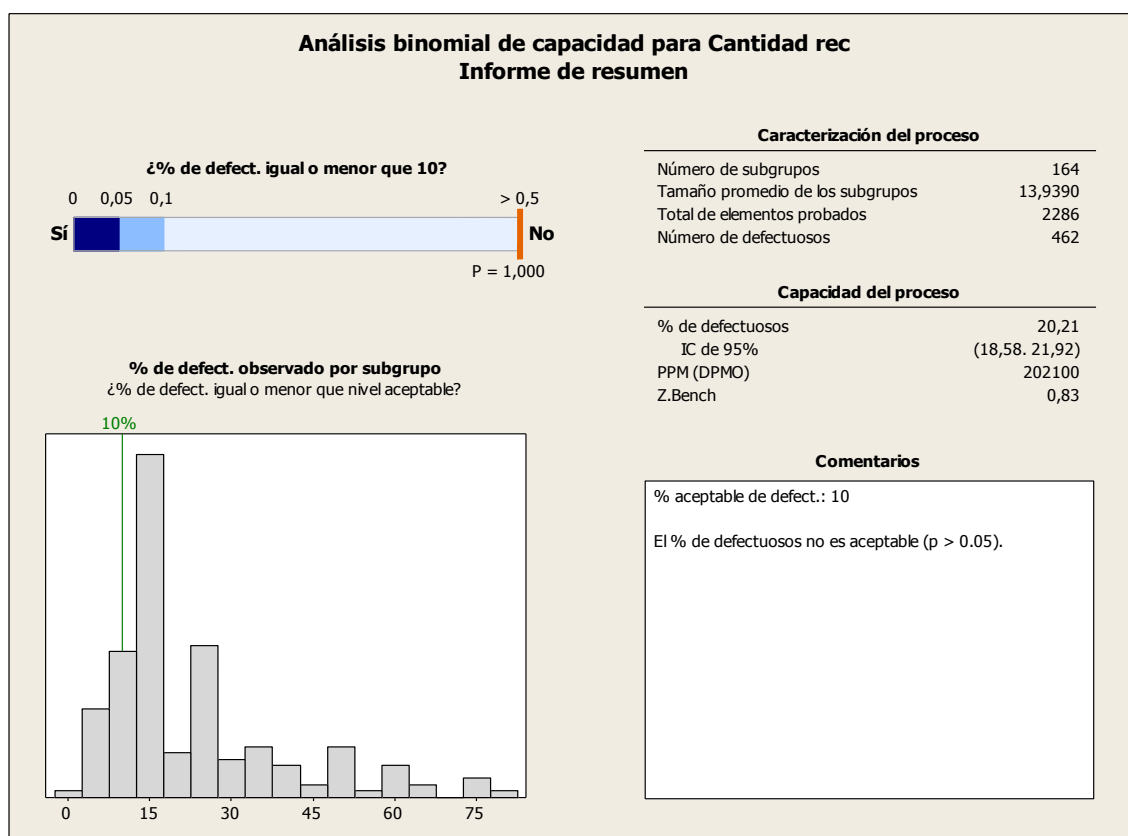
DPO=20,21%

DPMO=202.100

NIVEL SIGMA= 2

- El porcentaje de defectuosos aún no es aceptable ($p > 0.05$), es decir, hay que seguir identificando aquellos problemas o causas especiales que no permiten que el proceso sea estable.

Figura 4.9. Análisis de capacidad binomial sin datos atípicos.



4.4 Fase 3. Analizar y Validar las causas

Luego de haber analizado, validado y corregido el sistema de medición, se procede analizar y validar las causales que generan los problemas de armado.

Primero se genera el diagrama de Pareto por causales de armado teniendo en cuenta la información resultante de las mediciones realizadas, segundose validan las causas utilizando diagramas de Ishikawa y tercero se evalúan en una matriz de causa y efecto.

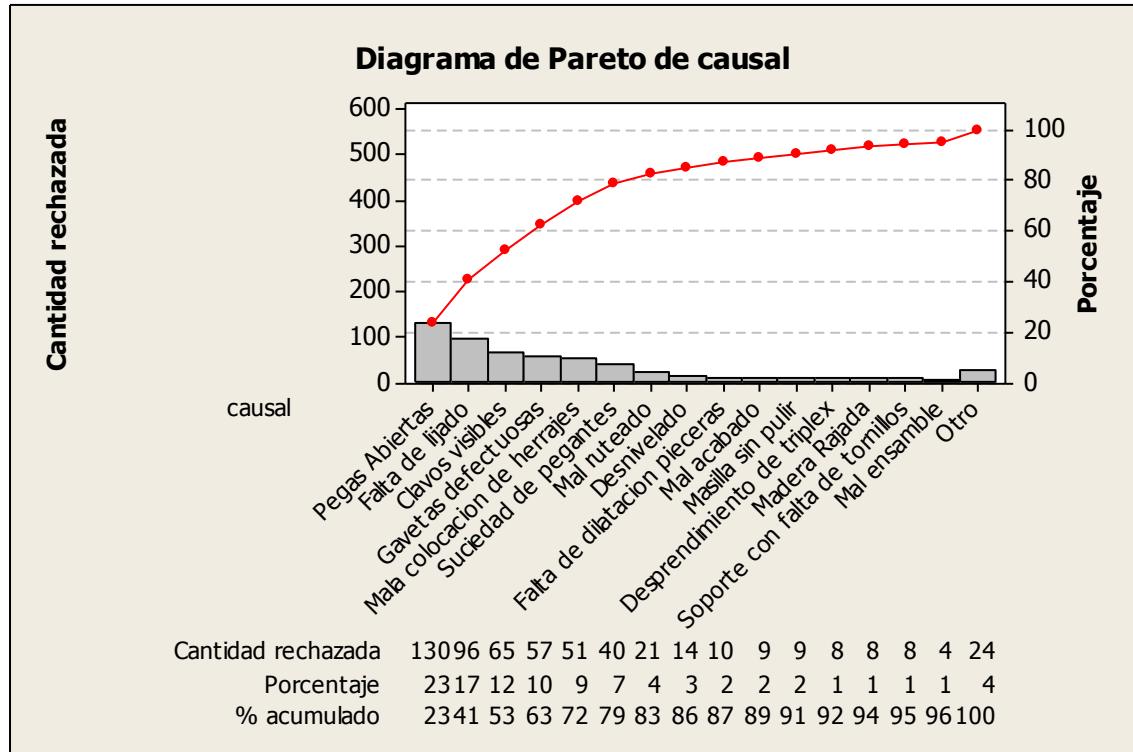
4.4.1 Análisis del flujo del proceso de armado

a) Identificar las causales que generan los problemas de armado:

En el siguiente diagrama de Pareto de causales de problemas de armado, se logra determinarlas principales causas raíces que conllevan a la generación de devoluciones por defectos de armado, los cuales son piezas claves en la disminución del porcentaje de rechazo. Estas son:

- Pegas abiertas
- Falta de lijado
- Clavos visibles
- Gavetas defectuosas
- Mala colocación de herrajes
- Suciedad de pegantes

Figura 4.10. Diagrama de Pareto de armado.



4.4.2 Diagramas de Ishikawa

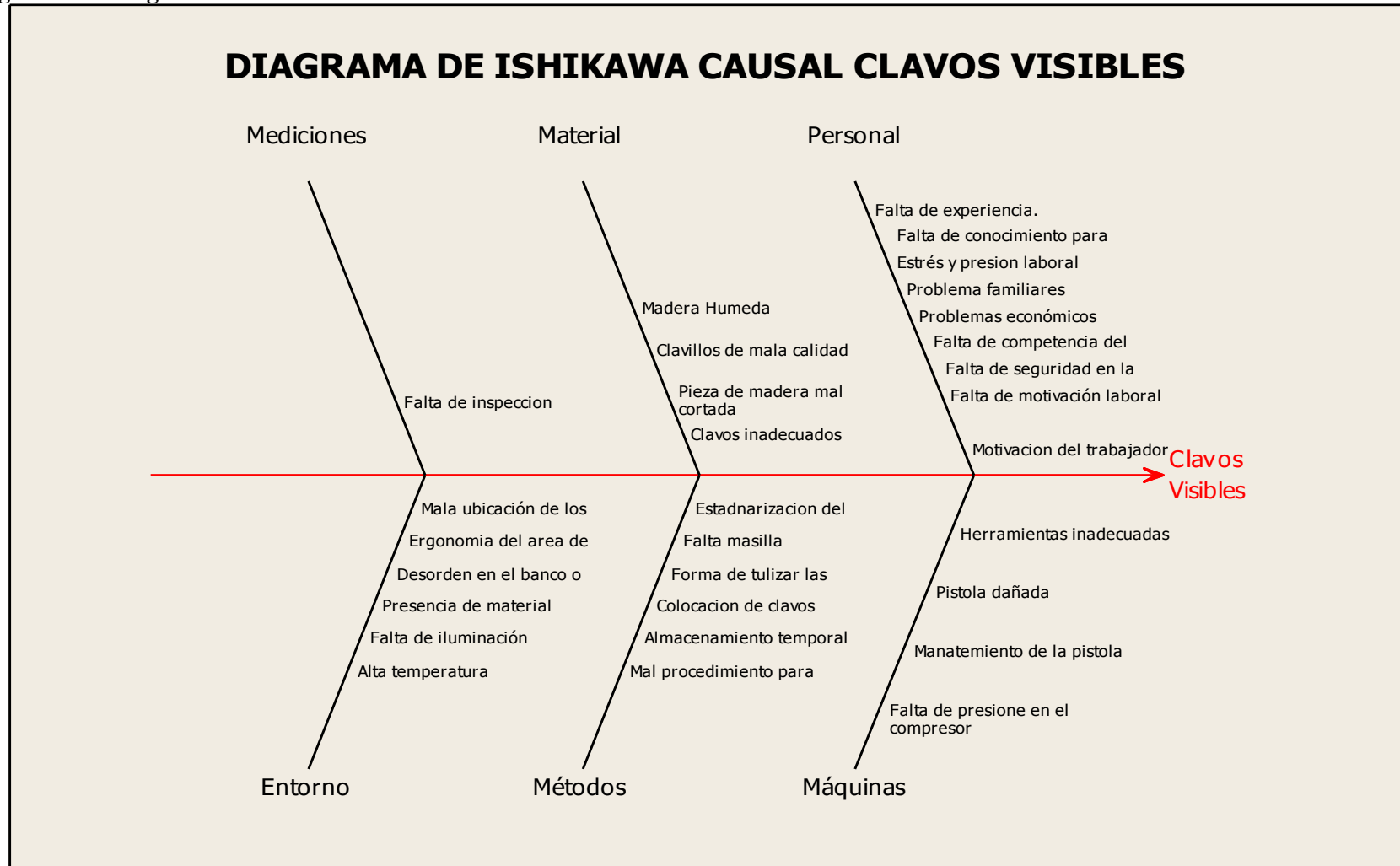
El siguiente paso es la validación de las causas aplicando diagramas de Ishikawa. Esta herramienta nos permite de manera gráfica relacionar un problema o defecto con los factores o causas que posiblemente lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis del equipo de trabajo y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas. Además, se debe tener en cuentas las variables críticas ya identificadas en el proceso y relacionarla con los problemas que se van a analizar.

Los problemas que se desean analizar son aquellos que fueron identificados en el anterior diagrama de Pareto. Para llevar a cabo esta tarea, se realizó un diagrama de Ishikawa para cada uno de estos problemas o defectos:

- Pegas abiertas
- Falta de lijado
- Clavos visibles
- Suciedad de pegantes
- Gavetas defectuosas
- Mala colocación de herraje

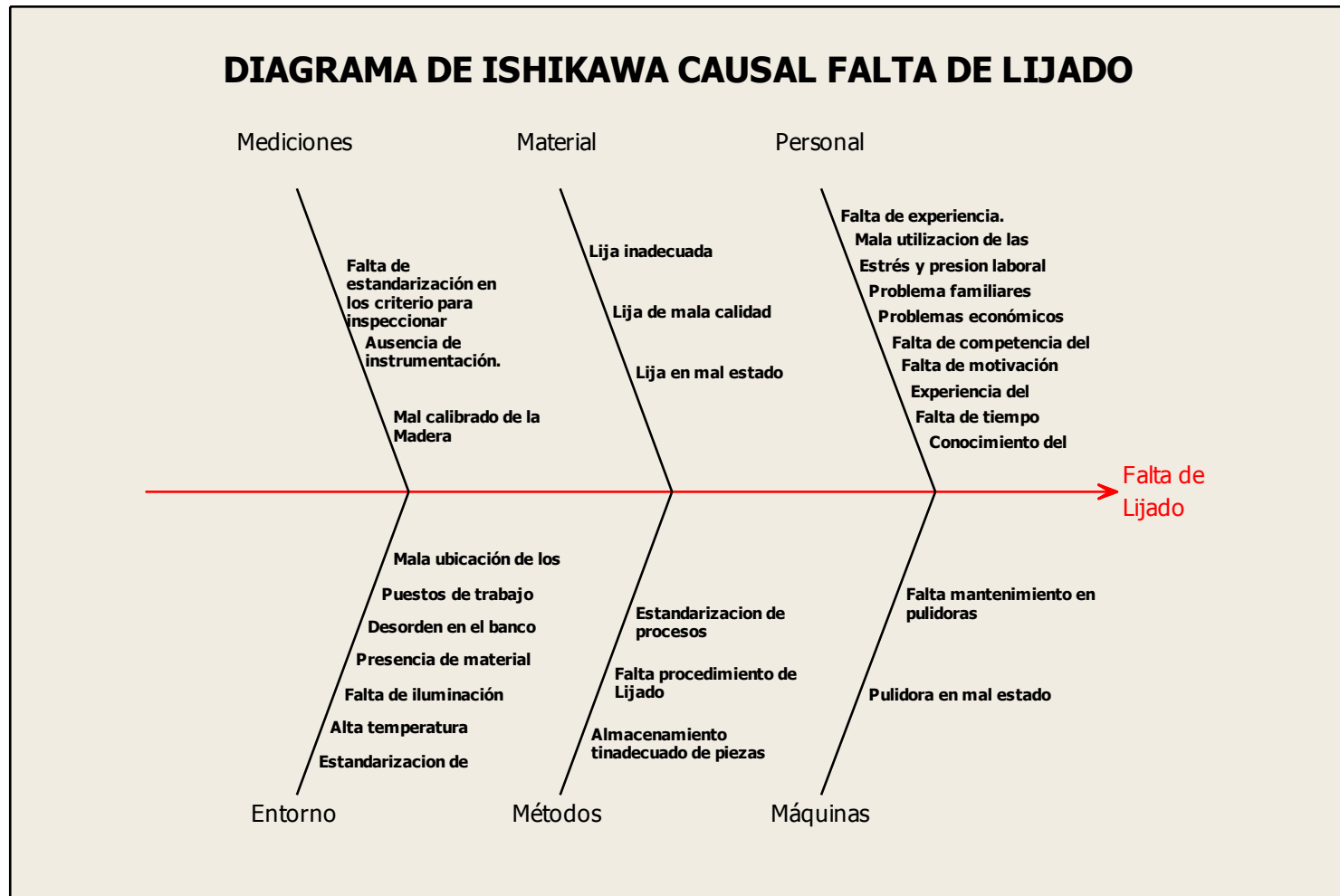
c) Diagrama de Ishikawa causal clavos visibles.

Figura 4.11. Diagrama de Ishikawa causal clavos visibles.



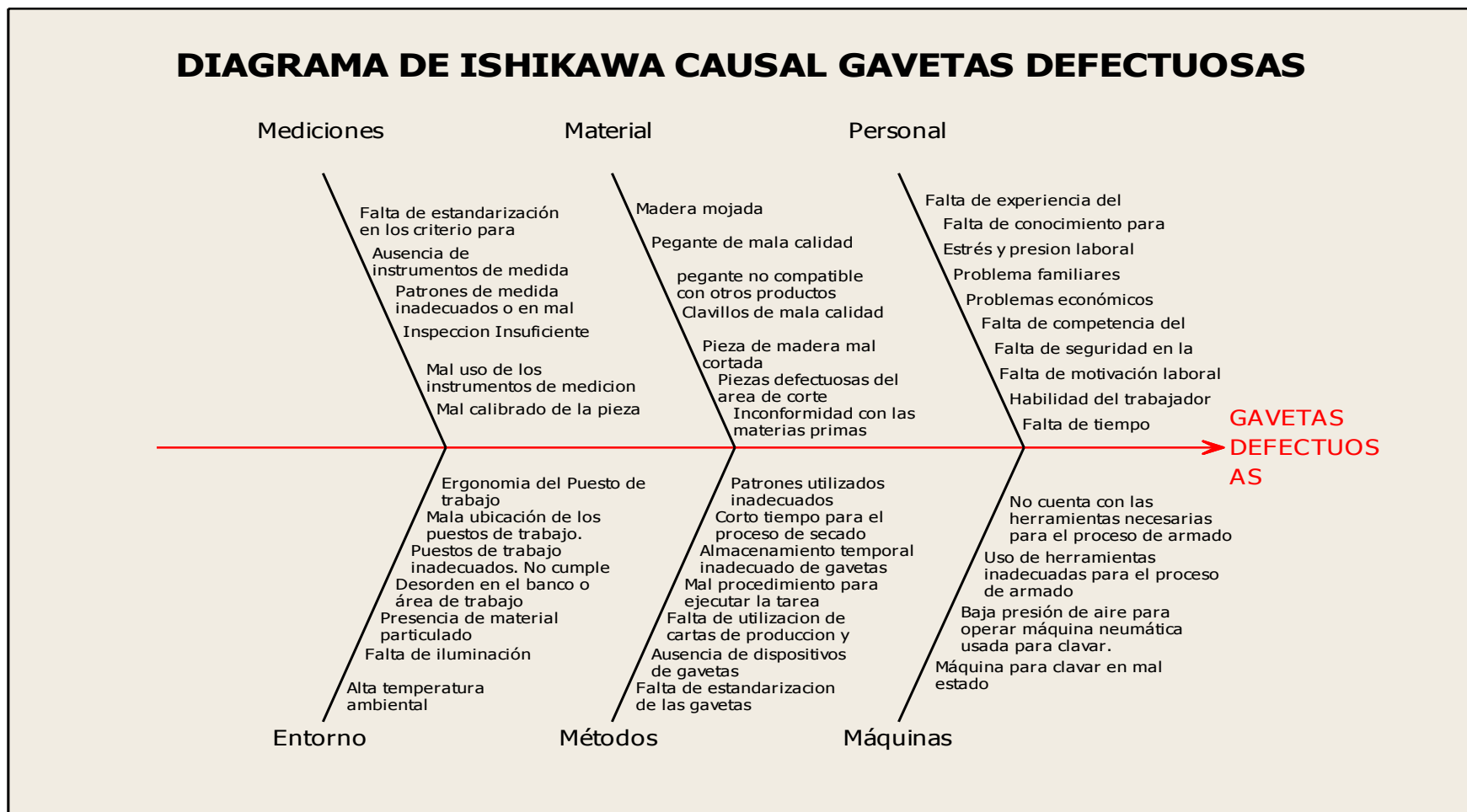
b. Diagrama de Ishikawa causal falta de lijado.

Figura 4.12. Diagrama de Ishikawa causal falta de lijado.



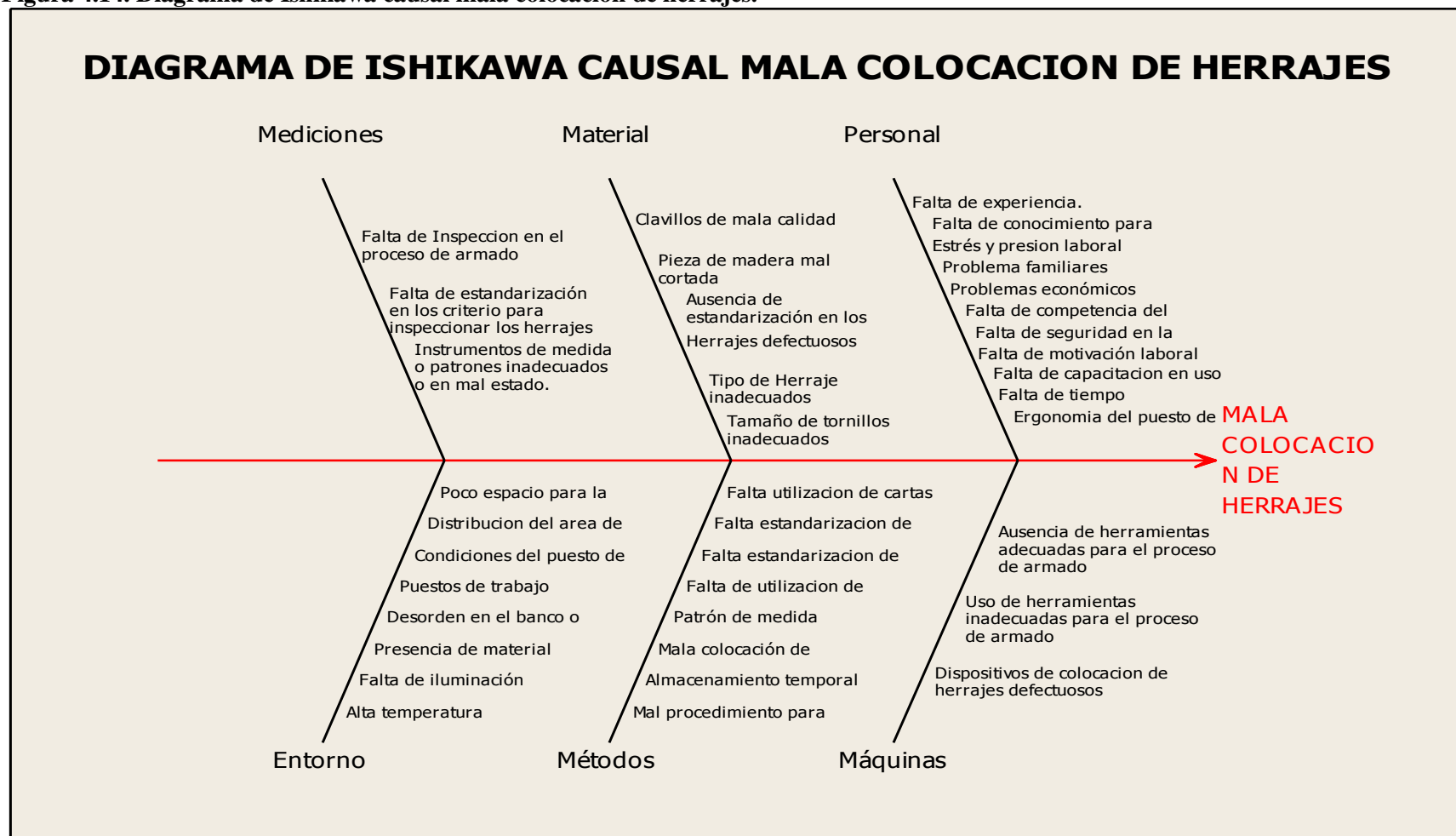
c. Diagrama de Ishikawa causal gavetas defectuosas.

Figura 4.13. Diagrama de Ishikawa causal gavetas defectuosas.



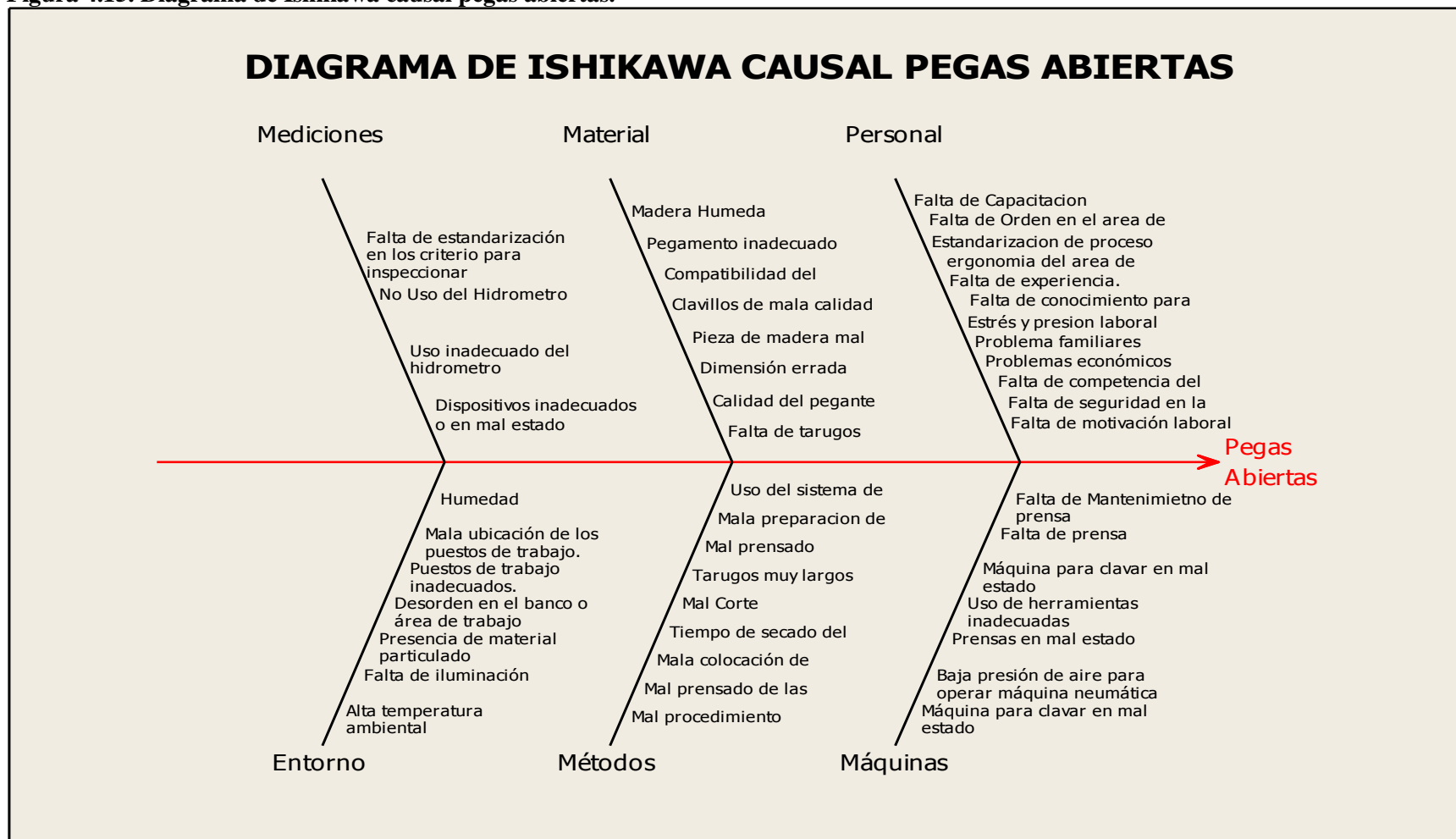
d. Diagrama de Ishikawa causal mala colocación de herrajes.

Figura 4.14. Diagrama de Ishikawa causal mala colocación de herrajes.



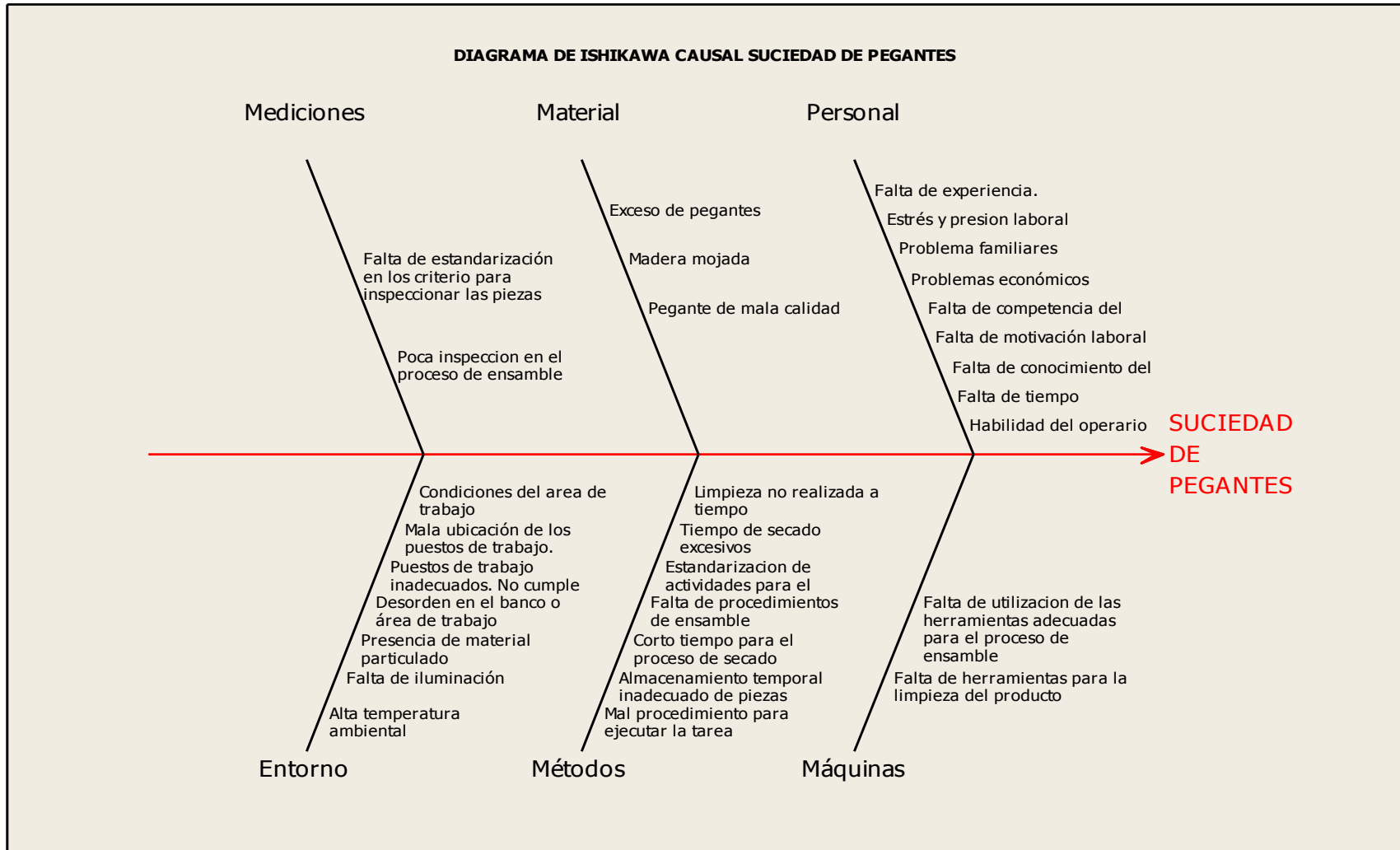
e. Diagrama de Ishikawa causal pegas abiertas.

Figura 4.15. Diagrama de Ishikawa causal pegas abiertas.



f. Diagrama de Ishikawa causal suciedad de pegantes.

Figura 4.16. Diagrama de Ishikawa causal suciedad de pegantes.



4.4.3 Analizar y validar las causas

a) Matriz de causa y efecto:

Luego de obtener los diferentes diagramas de Ishikawa para cada uno de los problemas identificados en el área de armado, se procedió a clasificar todas las causas analizadas por las 6M, identificándolos con colores como se muestra más adelante. Esta información es tabulada en una matriz, ahí encontraremos las causas y los problemas de armado y la forma de cómo evaluar su relación de acuerdo a criterios de evaluación previamente establecidos. La importancia o peso de cada uno de estos defectos o problemas se da de acuerdo a requerimientos de la empresa (Véase el ANEXO 4).

Como resultante de esta evaluación obtendremos las causas que se encuentran relacionadas de manera directa y que generan un mayor impacto en cada uno de los problemas del área de armado, teniendo en cuenta el 80/20 del Pareto:

CAUSAS IDENTIFICADAS
Falta de conocimiento para la operación de la herramienta
Habilidad del trabajador
Falta de capacitación en uso de dispositivos
Forma de utilizar las herramientas
Estandarización del procedimiento
Mal procedimiento para ejecutar la tarea
Falta utilización de cartas de producción y explosión de los productos
Estandarización de actividades para el entregar al producto a la siguiente área
Falta de estandarización en los criterio para inspeccionar
Ausencia de instrumentos de medida
Inspección insuficiente
Ausencia de herramientas adecuadas para el proceso de armado
Uso de herramientas inadecuadas para el proceso
Falta de experiencia.
Falta de orden en el área de trabajo
Falta de iluminación
Ergonomía del área de trabajo
Mala ubicación de los puestos de trabajo.
Puestos de trabajo inadecuados. No cumple con los estándares.
Pieza de madera mal cortada
Piezas defectuosas del área de corte
Dimensión errada
Mal calibrado de la madera
Falta de motivación laboral

Presencia de material particulado
Estrés y presión laboral
Alta temperatura ambiental
Desorden en el banco o área de trabajo
Condiciones del puesto de trabajo
Inconformidad con las materias primas
Falta de presión en el compresor
Mantenimiento de la pistola
Pistola dañada
Uso inadecuado del hidrómetro
Falta de competencia del trabajador
Almacenamiento temporal inadecuado de piezas
Tiempo de secado del pegante
Pegante de mala calidad
Pegamento inadecuado
Humedad
Madera húmeda
Distribución del área de trabajo
Prensas en mal estado
Falta de prensa
Mal prensado de las piezas

Tabla 4.8. Criterios de evaluación y 6M.

6 M	
	Maquinaria
	Medio ambiente
	Método
	Materiales
	Medición
	Mano de obra
Criterio de Evaluación	
9	Alto
5	Medio
1	Bajo
0	Nulo

c) Diseñar experimento para medir la variabilidad de las mediciones de las diferentes piezas resultantes del corte de madera:

El proceso de consecución de un mueble se convierte en un momento determinado en un conjunto de elementos que deben funcionar en una sincronía perfecta para la consecución de piezas que cumplan con las especificaciones tanto de Muebles Jamar como del cliente final. Por lo tanto, en este proceso investigativo y en total concordancia con la gerencia de la organización fue definido el proceso de corte como uno de los más críticos en el proceso de construcción del muebles y por lo tanto epicentro de este proceso investigativo. Es en esta área donde son dimensionadas todas las piezas que finalmente conformarán el mueble terminado, una falla en este proceso logra traer retardos considerables en el ensamble de las piezas y reprocesos, lo cual se ve representado en pérdidas para la organización.

El objetivo de este experimento es determinar la relación de la variabilidad de las medidas de las piezas resultantes en el área de corte con los problemas de gavetas defectuosas que se presentan en el proceso de ensamble de alcobas. Para la toma de datos se creó una tabla (Véase el ANEXO 5), la cual nos permitirá anotar las observaciones de las medidas de las diferentes partes que conforman un nochero y una gaveta. Se tomarán cinco muestras por cada pieza, para cada uno de los operarios, en diferentes horas del día, durante una semana. Al final de obtener los datos se realizará un análisis de la variaciones de las medidas tomadas con respecto a la medida de referencia (medidas standard).

Además, podemos ver el esquema de los diferentes elementos que conforman la estructura de las gavetas y gaveteros, que se tienen en cuenta en la ejecución del experimento.

Figura 4.17 Esquema de gaveteros.

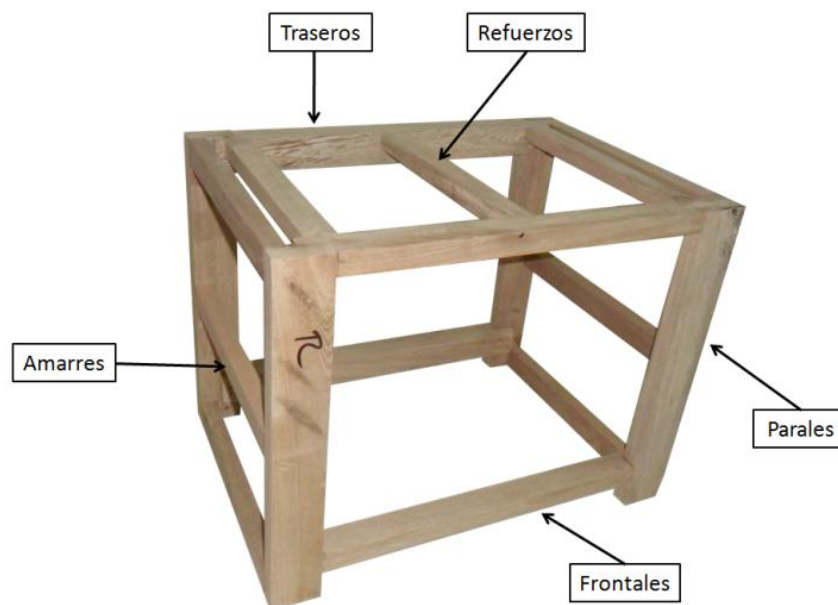
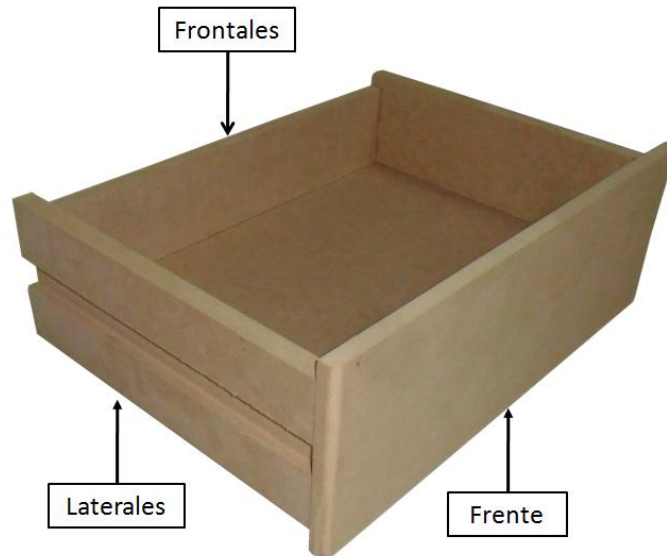


Figura 4.18 Esquema de Gavetas.



d) Análisis de la influencia de la variabilidad de las medidas con los problemas generados en el proceso armado:

Luego de obtener los datos resultantes del experimento de las medidas del área de corte, se procede a realizar un análisis estadístico para evaluar si estas medidas influyen en los problemas que generan las devoluciones internas en el proceso de armado.

Para realizar dicho análisis se tiene cuenta las diferentes variables:

- | | |
|----------------|--------------|
| - Hora | - Parte |
| - Día | - Medida |
| - Operario | - Valor |
| - Herramientas | - Referencia |
| - Producto | - Diferencia |
| - Componente | |

Donde, la variable diferencia es la desviación de las medidas que se tomaron y las medidas estándar (referencia). Esta variable nos permitirá comprobar realmente la influencia que se desea analizar. Por esta razón, se comparará con cada una de las otras variables.

A continuación, se mostrarán los siguientes resultados de las estadísticas y gráficas descriptivas utilizadas, de las cuales se tomaron solo en cuenta:

- Histograma con curva normal
- Gráfico de valores individuales
- Gráfica de caja
- Media, Desviación estándar, Varianza, Mínimo, Máximo, Rango
- ANOVA de un solo factor
- Gráfica de residuos

Antes de revisar de manera individual los análisis de cada una de las variables, es importante resaltar los siguientes puntos:

1. En los diferentes gráficos de cajas de cada una de las variables, se observa una cantidad de datos considerables que se encuentran fuera de los bigotes, los cuales, son datos atípicos y comprueban que si hay variabilidad en la medidas de las piezas.
2. En los histogramas con curva normal de cada una de las variables, muestran que los datos se ajustan a una distribución normal.
3. Los gráficos de valores individuales de cada una de las variables, ayudan a determinar la dirección que se debe tomar al comienzo del análisis, el proceso está centrado, pero existen gran cantidad de datos por arriba y por debajo. Es decir, hay mucha variabilidad en los datos.
4. En los gráficos de probabilidad normal, los datos no se ajustan a la normalidad debido a la existencia de datos atípicos en el proceso de corte.
5. El valor de alfa con el cual se trabajará es: $\alpha = 0,05$.
6. En los diferentes análisis ANOVA de un solo factor se utiliza los valores P para elegir entre dos hipótesis opuestas, basándose en los datos obtenidos:

- H_0 : si se acepta la hipótesis nula, no existe variabilidad en los datos de medidas de las piezas.
-
- H_1 : si se acepta la hipótesis alternativa, existe variabilidad en los datos de medidas de las piezas.

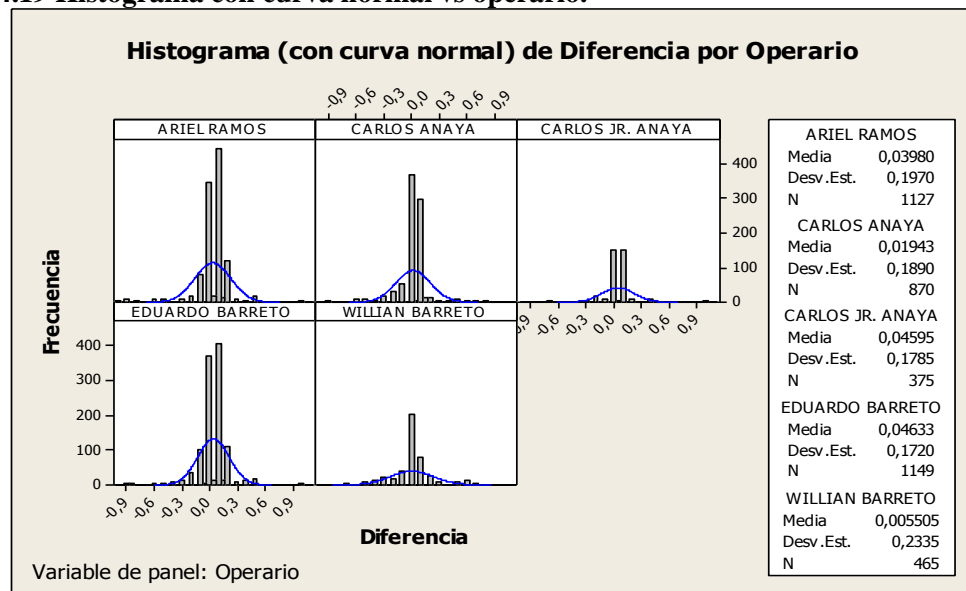
En los diferentes resultados del análisis ANOVA de cada una de las variables, el valor P tiende a ser 0.

Entonces, si $P < \alpha$, es decir, $0 < 0.05$, se rechaza la H_0 .

7. Al rechazar la hipótesis nula, podemos concluir que cada una de las variables (operario, hora, día, herramienta, componente, parte, valores, referencia, diferencia), influyen en la variación de las medidas de las piezas resultantes en el proceso de corte de madera y además se comprueba que estos si influyen en los problemas del área de armado.

- **Análisis estadísticos diferencia vs operario (Véase el ANEXO 6):**

Figura 4.19 Histograma con curva normal vs operario.

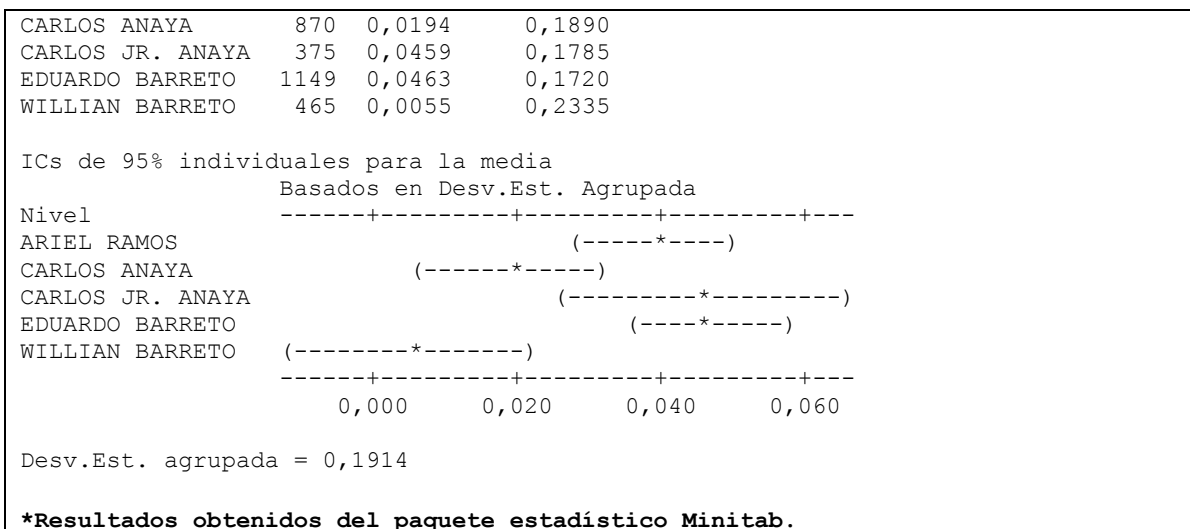


ANOVA unidireccional: Diferencia vs. Operario

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Operario	4	0,8283	0,2071	5,65	0,000
Error	3981	145,8893	0,0366		
Total	3985	146,7176			

S = 0,1914 R-cuad. = 0,56% R-cuad. (ajustado) = 0,46%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
ARIEL RAMOS	1127	0,0398	0,1970



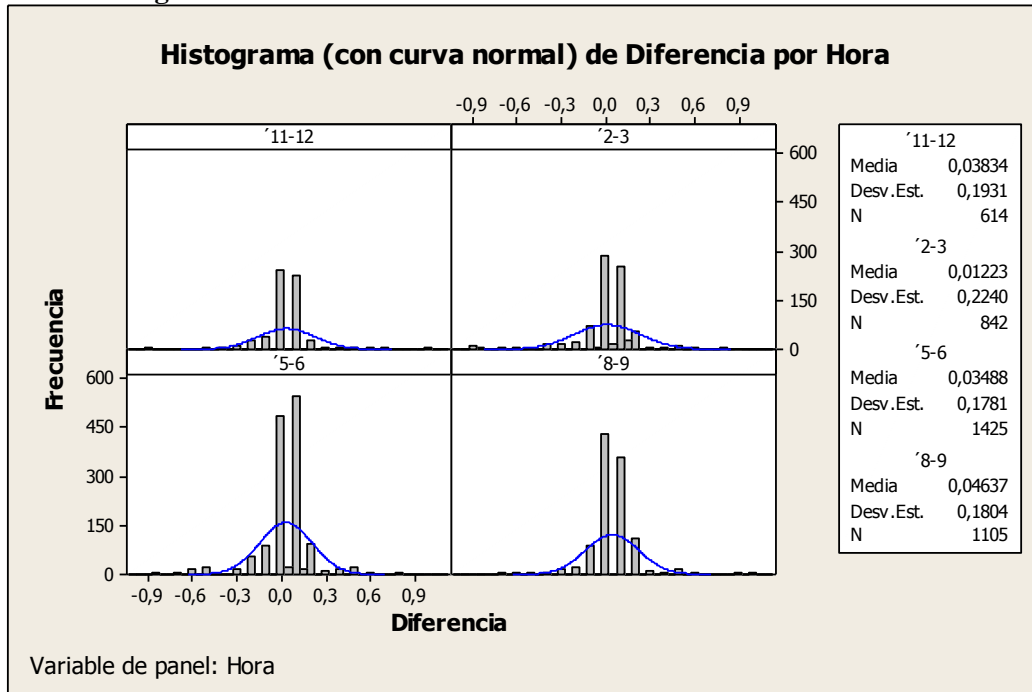
Interpretación:

Como se observa en los resultados, el valor de P es igual a cero, es decir, es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por operario, se observa que el Sr. William Barreto obtuvo mejor comportamiento en lo referente a la variabilidad de las medidas, es el que más se aproxima a la media esperada. Puede ser debido al tipo material usado en la operación (MDF) y/o la máquina utilizada para llevar a cabo la operación de corte (escuadradora). Los otros operarios presentan los valores de las desviaciones estándar aproximadamente igual pero se encuentra lejos de la media esperada. Esto puede ser causado por el tipo de maquinaria utilizada ya que esta es de tipo artesanal y en cambio la escuadradora es una máquina tecnificada. Además, el material usado en la operación son retazos de madera con algunas imperfecciones en su geometría a las cuales hay que darles las distintas dimensiones de largo, ancho y espesor.

- Análisis estadístico diferencia vs hora (Véase el ANEXO 7):

Figura 4.20 Histograma curva normal diferencia vs hora.



ANOVA unidireccional: Diferencia vs. Hora

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Hora	3	0,5806	0,1935	5,27	0,001
Error	3982	146,1371	0,0367		
Total	3985	146,7176			

S = 0,1916 R-cuad. = 0,40% R-cuad. (ajustado) = 0,32%

ICs de 95% individuales para la media

Basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
'11-12	614	0,0383	0,1931	(-----*-----)
'2-3	842	0,0122	0,2240	(-----*-----)
'5-6	1425	0,0349	0,1781	(-----*-----)
'8-9	1105	0,0464	0,1804	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+
0,000 0,015 0,030 0,045

Desv.Est. agrupada = 0,1916

***Resultados obtenidos en el paquete estadístico Minitab.**

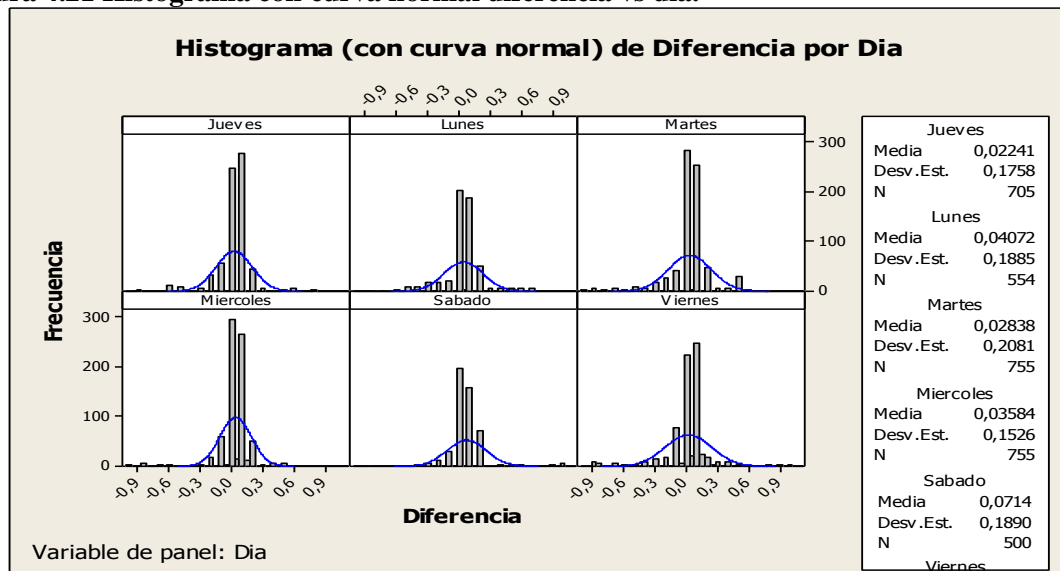
Interpretación:

Como se observa en los resultados, el valor de $P=0,001$, es decir, es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por hora, se observa que el horario comprendido entre las dos y tres de la tarde obtuvo mejor comportamiento en lo referente a la variabilidad de las medidas y es el que más se aproxima a la media esperada. Caso contrario sucede con el horario comprendido entre las ocho y nueve de la mañana, donde se presentan mayor variabilidad de las medidas. Esta variación de medidas en este horario puede verse influenciado por piezas que hayan sido procesadas el día anterior.

- **Análisis estadístico diferencia vs día (Véase el ANEXO 8):**

Figura 4.21 Histograma con curva normal diferencia vs día.



ANOVA unidireccional: Diferencia vs. Día

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Día	5	1,0511	0,2102	5,74	0,000
Error	3980	145,6665	0,0366		
Total	3985	146,7176			

S = 0,1913 R-cuad. = 0,72% R-cuad.(ajustado) = 0,59%

ICs de 95% individuales para la media

Basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
Jueves	705	0,0224	0,1758	(-----*-----)
Lunes	554	0,0407	0,1885	(-----*-----)
Martes	755	0,0284	0,2081	(-----*-----)
Miércoles	755	0,0358	0,1526	(-----*-----)
Sábado	500	0,0714	0,1890	(-----*-----)
Viernes	717	0,0171	0,2249	(-----*-----)

0,025 0,050 0,075 0,100

Desv.Est. agrupada = 0,1913

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

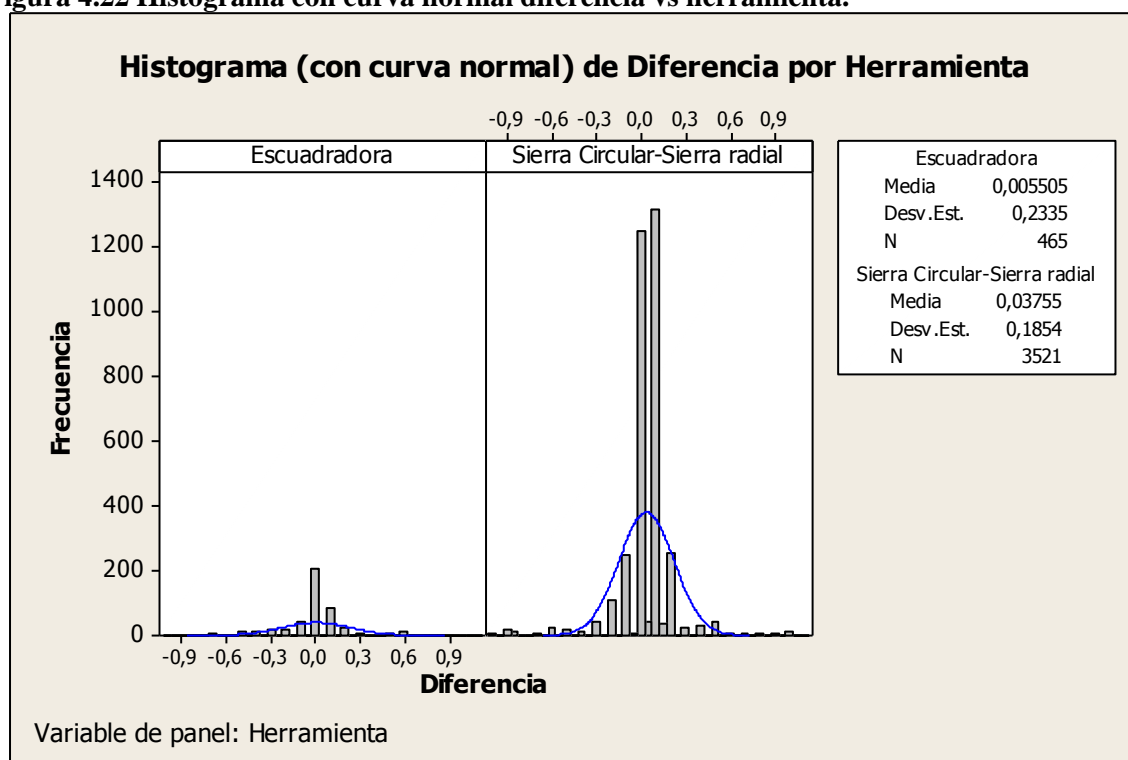
Interpretación:

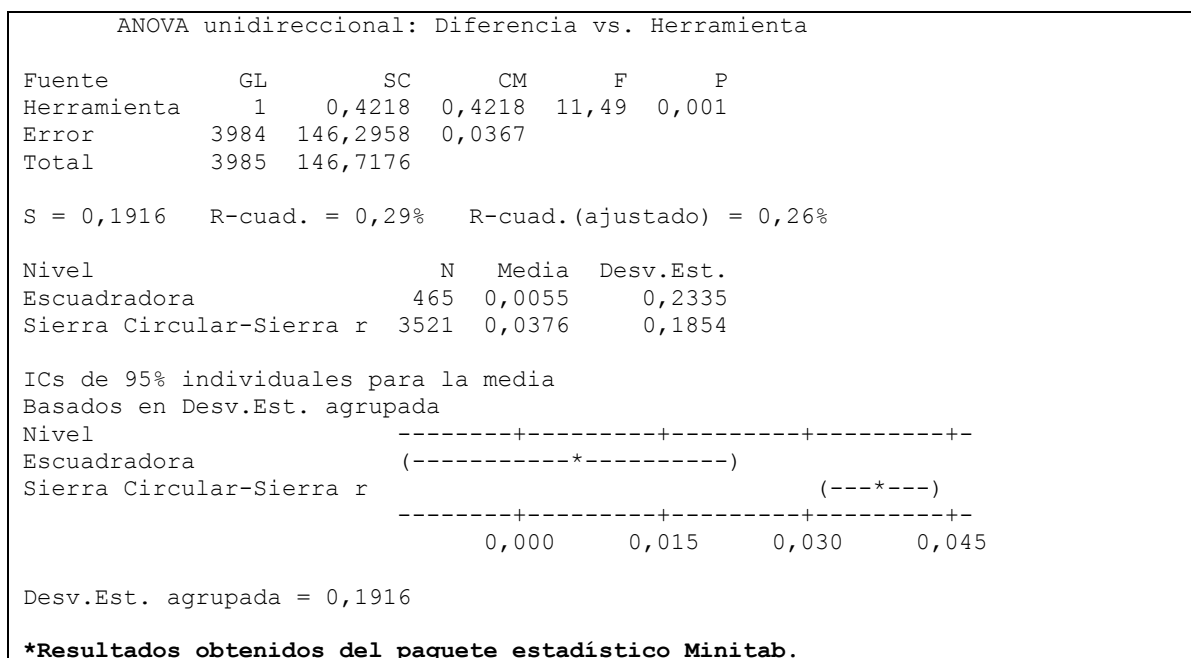
Como se observa en los resultados, el valor de P es cero, es decir, es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por día, se observa que los días jueves y viernes presentan mejor comportamiento en lo referente a la variabilidad de las medidas y el día viernes es el que más se aproxima a la media esperada. Caso contrario sucede con el día sábado, donde se presenta mayor variabilidad de las medidas. La variación de medidas generadas en este día, puede verse influenciado por el deseo del personal de terminar la tareas en el menor tiempo posible, salir a disfrutar de su descanso y cobrar la respectiva quincena.

- Análisis estadístico de diferencia vs herramienta (Véase el ANEXO 9):

Figura 4.22 Histograma con curva normal diferencia vs herramienta.





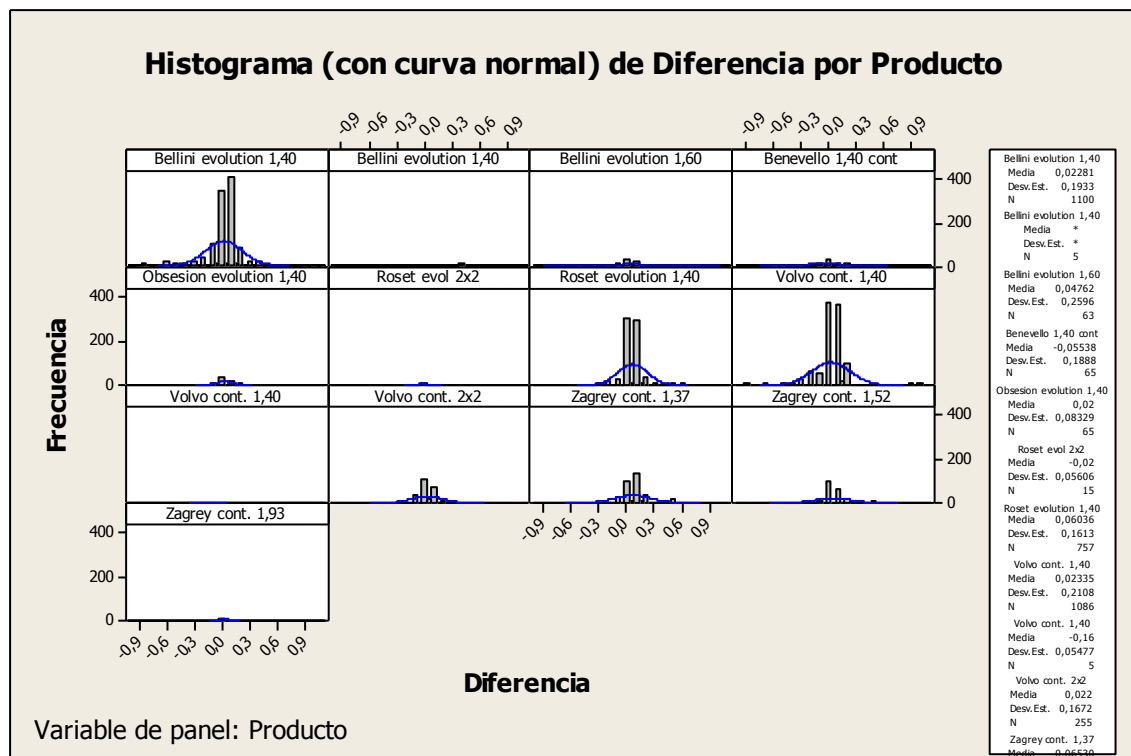
Interpretación:

Como se observa en los resultados, el valor de $P=0,001$, es decir, es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por herramienta, se observa que la escuadradora obtuvo mejor comportamiento en lo referente a la variabilidad de las medidas y es la que más se aproxima a la media esperada. Esto puede ser causado por que la escuadradora es una máquina tecnificada y en cambio, las sierras circulares son de tipo artesanal.

- Análisis estadístico diferencia vs producto (Véase el ANEXO 10):

Figura 4.23 Histograma con curva normal diferencia vs producto.



- **Análisis estadístico diferencia vs componente (Véase el ANEXO 11):**

ANOVA unidireccional: Diferencia vs. Producto					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Producto	12	2,6165	0,2180	6,01	0,000
Error	3973	144,1011	0,0363		
Total	3985	146,7176			

S = 0,1904 R-cuad. = 1,78% R-cuad.(ajustado) = 1,49%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
Bellini evolution 1,40	1100	0,0228	0,1933
Bellini evolution 1,40	5	0,4000	0,0000
Bellini evolution 1,60	63	0,0476	0,2596
Benevello 1,40 cont	65	-0,0554	0,1888
Obsesion evolution 1,40	65	0,0200	0,0833
Rosetevol 2x2	15	-0,0200	0,0561
Roset evolution 1,40	757	0,0604	0,1613
Volvo cont. 1,40	1086	0,0234	0,2108
Volvo cont. 1,40	5	-0,1600	0,0548
Volvo cont. 2x2	255	0,0220	0,1672
Zagrey cont. 1,37	345	0,0653	0,1988
Zagrey cont. 1,52	210	0,0405	0,1893
Zagrey cont. 1,93	15	0,0267	0,0458

ICs de 95% individuales para la media
Basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	
Bellini evolution 1,40	(*)
Bellini evolution 1,40	(-----*-----)
Bellini evolution 1,60	(--*)
Benevello 1,40 cont	(--*)
Obsesion evolution 1,40	(--*)
Rosetevol 2x2	(---*---)
Roset evolution 1,40	(*)
Volvo cont. 1,40	(*)
Volvo cont. 1,40	(-----*-----)
Volvo cont. 2x2	(*)
Zagrey cont. 1,37	(*)
Zagrey cont. 1,52	(*)
Zagrey cont. 1,93	(---*---)

Desv.Est. agrupada = 0,1904

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

Interpretación:

Como se observa en los resultados, el valor de P es igual a cero; es decir, es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por producto, se observa que las camas Bellini evolution y Volvo 1,40 son las que presentan mayor variabilidad en las medidas, debido a que se alejan a la media esperada.

Histograma (con curva normal) de Diferencia por Componente

Gaveta	
Media	0,005505
Desv. Est.	0,2335
N	465

Nochero	
Media	0,03755
Desv. Est.	0,1854
N	3521

Variable de panel: Componente

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Componente	1	0,4218	0,4218	11,49	0,001
Error	3984	146,2958	0,0367		
Total	3985	146,7176			

Desv.Est. agrupada = 0,1916

131

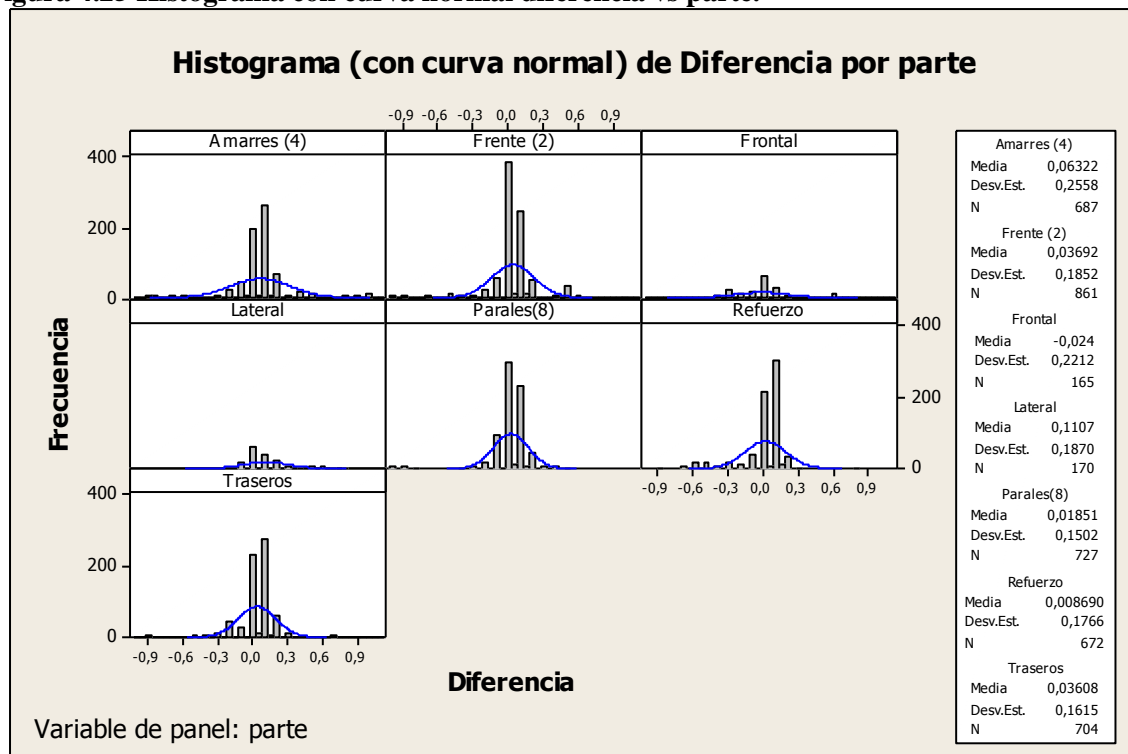
Interpretación:

Como se observa en los resultados, el valor de $P=0,001$; es decir, P es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por componente, se observa que los nocheros presentan mayor variabilidad en las medidas, debido a que se alejan a la media esperada. En cambio las gavetas obtuvieron un mejor comportamiento en lo referente a la variabilidad de las medidas y son la que más se aproxima a la media esperada.

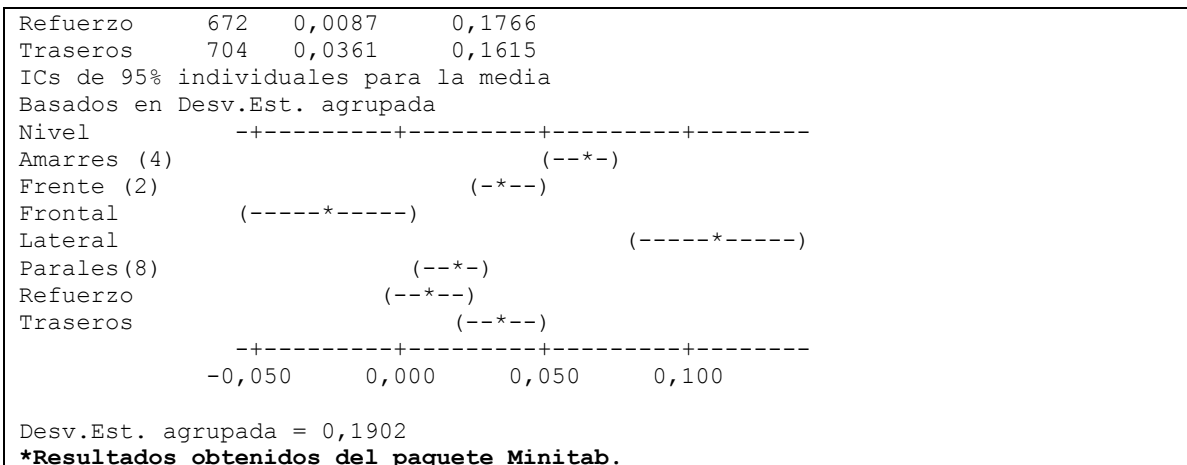
- Análisis estadístico de diferencia vs parte (Véase el ANEXO 12):

Figura 4.25 Histograma con curva normal diferencia vs parte.



ANOVA unidireccional: Diferencia vs. Parte

Fuente	GL	SC	CM	F	P
parte	6	2,7568	0,4595	12,70	0,000
Error	3979	143,9608	0,0362		
Total	3985	146,7176			
S = 0,1902 R-cuad. = 1,88% R-cuad.(ajustado) = 1,73%					
Nivel	N	Media	Desv.Est.		
Amarres (4)	687	0,0632	0,2558		
Frente (2)	861	0,0369	0,1852		
Frontal	165	-0,0240	0,2212		
Lateral	170	0,1107	0,1870		
Parales (8)	727	0,0185	0,1502		



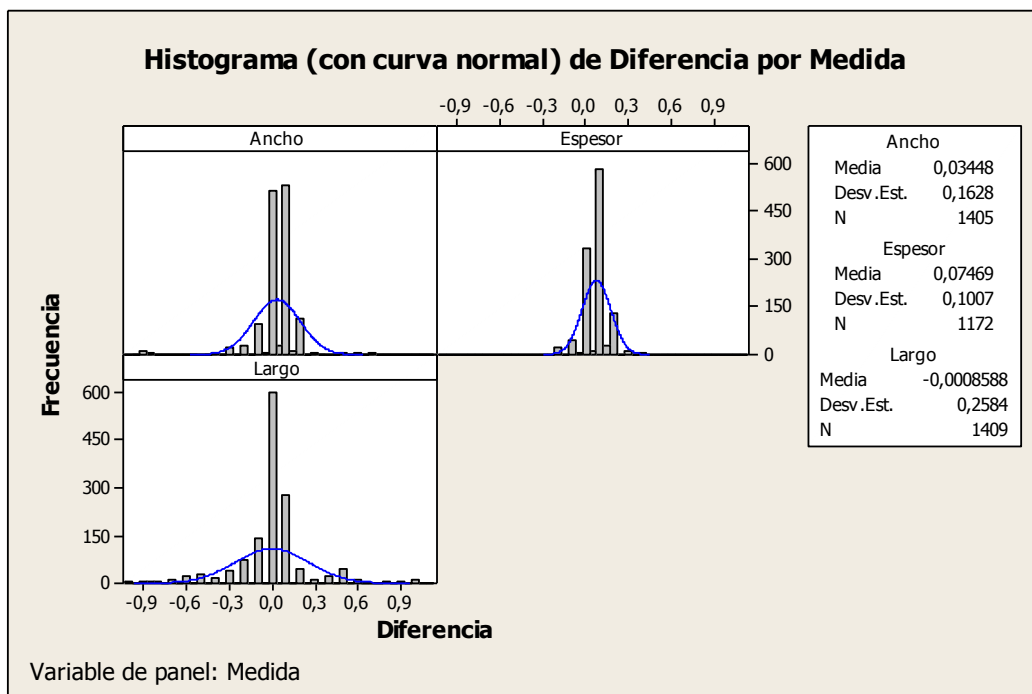
Interpretación:

Como se observa en los resultados, el valor de P es cero; es decir, P es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por parte, se observa que los laterales y frontales presentan mayor variabilidad en las medidas, debido a que se alejan a la media esperada. En cambio los refuerzos y parales obtuvieron un mejor comportamiento en lo referente a la variabilidad de las medidas y son la que más se aproxima a la media esperada.

- Análisis estadístico de diferencia vs medida (Véase el ANEXO 13):

Figura 4.26 Histograma con curva normal diferencia vs medida.



ANOVA unidireccional: Diferencia vs. Medida

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Medida	2	3,6530	1,8265	50,85	0,000
Error	3983	143,0646	0,0359		
Total	3985	146,7176			

S = 0,1895 R-cuad. = 2,49% R-cuad. (ajustado) = 2,44%

ICs de 95% individuales para la media

Basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
Ancho	1405	0,0345	0,1628	(---*---)
Espesor	1172	0,0747	0,1007	(---*---)
Largo	1409	-0,0009	0,2584	(---*---)

0,000 0,025 0,050 0,075

Desv.Est. agrupada = 0,1895

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

Interpretación:

Como se observa en los resultados, el valor de P es cero; es decir, P es menor que el valor de alfa (0,05), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, mostrando que hay diferencia significativa en las medidas.

En cuanto al análisis de los datos obtenidos por medidas, se observa que el ancho y el espesor presentan mayor variabilidad en las dimensiones, debido a que se alejan de la media esperada. En cambio, al darle el largo a las diferentes piezas se obtuvo un mejor comportamiento en lo referente a la variabilidad de las medidas y es la que más se aproxima a la media esperada.

4.5 FASE 4: MEJORAR

4.5.1 AMEF (variables de proceso)

Luego de haber identificado las variables de la etapa del proceso de corte que se tuvieron en cuenta al momento de realizar el seguimiento de la variación de las medidas de los nocheros y gavetas, se procede a analizar los modos de fallo y a calificar la severidad de su efecto. Igualmente se evalúa objetivamente la frecuencia de las causas potenciales y se identifican los controles que existen en la empresa para detectar y corregir esas causas potenciales (Véase el ANEXO 14).

Seguidamente, se utiliza una escala de evaluación para determinar el grado de severidad, la frecuencia de las causas potenciales y el grado de detección. Además, de calcular el número de prioridad de riesgo (RPN). El RPN se obtiene al realizar la multiplicación de la severidad por frecuencia y la detección.

$$\text{RPN} = \text{SEVERIDAD} * \text{FRECUENCIA} * \text{DETECCIÓN}$$

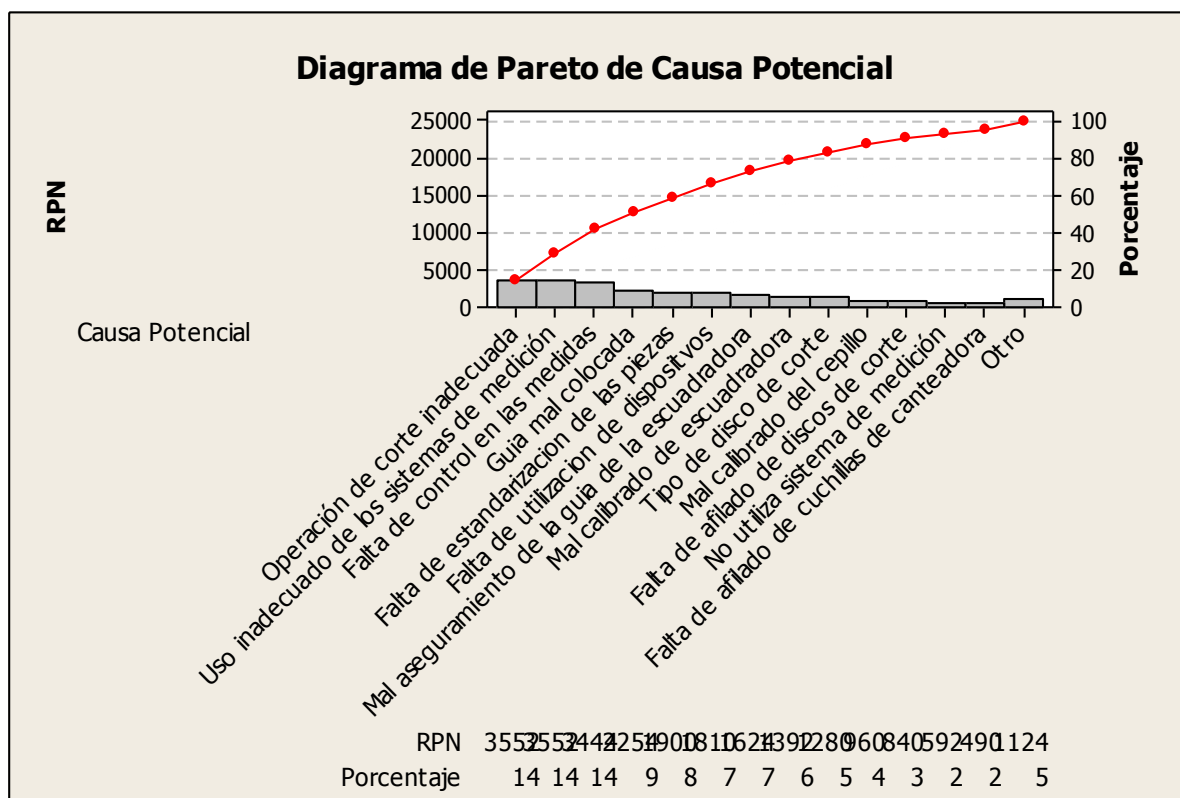
Tabla 4.9. Criterios de evaluación de AMEF.

Rangos	Severidad del Efecto	Frecuencia	Detección
10	Peligroso	Muy alta: Fallo casi inevitable	No se puede detectar (Improbable)
9	Peligro Potencial (serio)		Posibilidad muy remota de detección
8	Pérdida de función primaria (extremo)	Alta: Fallos repetidos (Han fallado a menudo)	Posibilidad remota de detección
7	Rendimiento reducido de función primaria (mayor)		Posibilidad muy baja de detección
6	Pérdida de función secundaria (significativo)	Moderada: Fallos ocasionales	Posibilidad baja de detección
5	Rendimiento reducido de función secundaria (Moderado)		Posibilidad moderada de detección
4	Defecto pequeño notado por la mayor parte de los clientes (Menor)		Posibilidad moderadamente alta de detección

3	Defecto pequeño notado por algunos clientes (Poco)	Baja: Pocos fallos relativamente Remota: Fallo es improbable	Posibilidad alta de detección
2	Defecto pequeño notado por clientes muy meticulosos (Muy Poco)		Posibilidad muy alta de detección
1	Sin efecto (No)		Detección casi segura (El defecto es una característica funcionalmente obvia)

Aquellas causas potenciales con mayor RPN, serán prioridad en la generación de planes de acción de mejoras.

Figura 4.27. Diagrama de Pareto de causas potenciales del AMEF.



Las causales con RPN alto son:

- Operación de corte inadecuada.
- Uso inadecuado de los sistemas de medición.
- Falta de control en las medidas.
- Guías mal colocada.
- Falta de estandarización de las piezas.
- Falta de utilización de dispositivos.
- Mal aseguramiento de la guía de la escuadradora.
- Mal calibrado de la escuadradora.
- Tipo de disco de corte.

4.5.2 Establecer estrategias de mejoras

a) Planes de acción:

El siguiente plan de acción es basado en las causales con RPN altos, dicho plan es realizado con el fin de eliminar la variabilidad de las medidas en los nocheros.

Este instrumento muestra las responsabilidades y las fechas en las cuales se ejecutaran cada una de las actividades, además, cuenta con un indicador, en el cual evalúa los puntajes obtenidos de acuerdo a si se cumplen o no las actividades programadas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Indicador de cumplimiento (\%)} = \frac{\sum(\text{Puntuacion de causal})}{2200} * 100$$

PLANES DE ACCIÓN									
Causal	Acción recomendada	Implementación	Responsables	Fecha inicio	Fecha final	Puntaje	Si	No	Indicador
Operación de corte inadecuada.	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.	* Realizar un estudio de los métodos adecuados para cortar la madera.	Jefe de Producción-Jefe del área de Corte	28/08/2012	28/09/2012	30			0%
		* Crear e Implementar procedimiento de corte	Jefe de Producción	28/09/2012	05/10/2012	50			
		* Socializar el procedimiento a los trabajadores.	Jefe de Producción	05/10/2012	06/10/2012	20			
	Inspeccionar periódicamente las medidas de las piezas cortadas.	* Capacitar al jefe de corte en las formas de tomar la medida adecuadas.	Jefe de Producción	03/09/2012	03/09/2012	60			0%
		* Concientizar al Jefe del área de corte de la importancia controlar la exactitud de las piezas.	Jefe de Producción	03/09/2012	Bimensual	40			
Uso inadecuado de los sistemas de medición.	Revisar las herramientas utilizadas por los trabajadores para realizar la medición.	* organizar brigadas periódicas de inspección de herramientas de medición (calibración, estado e indicadas para el proceso, entre otros).	Jefe del área de corte	06/09/2012	Mensual	100			0%
	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición	*Organizar jornadas de capacitación.	Jefe del área de corte	08/09/2012	09/09/2012	50			0%
		*Programar evaluaciones que evidencien el conocimiento del uso de los sistemas de medición	Jefe de Producción	10/09/2012	13/09/2012	50			

Falta de control en las medidas.	Establecer tabla de Muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte.	*Realizar un estudio con el fin de implementar el sistema de muestreo Military Standard.	Jefe de producción	03/08/2012	28/09/2012	20			0%
		* Capacitar a los inspectores de calidad en el sistema de muestreo	Jefe de producción	04/09/2012	04/09/2012	20			
		*Implementar el sistema de muestreo Military Standard.	Inspectores de calidad	05/09/2012	15/10/2012	30			
		*Inspeccionar periódicamente la eficiencia del sistema.	Jefe de producción	08/10/2012	Semanal	30			
	Inspeccionar periódicamente las medidas de las piezas cortadas.	* Capacitar al jefe de corte en las formas de tomar las medidas adecuadas.	Jefe de producción	03/09/2012	03/09/2012	60			0%
		* Realizar reuniones con el fin de concientizar al jefe del área de corte de la importancia controlar la exactitud de las piezas.	Jefe de Producción	15/09/2012	Bimensual	40			
	Realizar seguimiento periódico de los dispositivos con el fin de corroborar la eficiencia de los mismos	* Revisar diariamente las medidas y uso de los dispositivos.	Inspectores de calidad	21/08/2012	Diario	100			0%
Guías mal colocada.	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el	* Fabricar guías de materiales más resistentes que la madera.	Jefe de Corte-Inspectores de calidad	22/08/2012	22/09/2012	50			

	sistema de fijación de la guía	* Estandarizar guías en todas las máquinas de corte.	Jefe de corte-inspectores de calidad	22/08/2012	22/09/2012	50			0%
	Capacitar a los cortadores en el uso de las herramientas de medición y el uso y colocación de las guías de corte.					100			0%
	Inspeccionar periódicamente las medidas de las piezas cortadas.	* Capacitar al jefe de corte en las formas de tomar las medidas adecuadas.	Jefe de producción	03/09/2012	03/09/2012	60			0%
		* Concientizar al jefe del área de corte de la importancia controlar la exactitud de las piezas.	Jefe de producción	03/09/2012	Bimensual	40			
Falta de estandarización de las piezas.	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas	* Crear dispositivos que permitan la exactitud y estandarización de las piezas.	Inspectores de calidad	22/08/2012	22/09/2012	70			0%
		* Realizar reuniones para concientizar a los trabajadores del área de corte de lo necesario e importante que es el uso de los dispositivos.	Inspectores de calidad	24/08/2012	Mensual	30			
	Inspeccionar periódicamente las medidas de las piezas cortadas.	* Capacitar al jefe de corte en las formas de tomar las medidas adecuadas.	Jefe de producción	03/09/2012	03/09/2012	60			0%
		* Concientizar al jefe del área de corte de la importancia controlar la exactitud de las piezas.	Jefe de producción	03/09/2012	Bimensual	40			

Falta de utilización de dispositivos.	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos	*Realizar reuniones y actividades en las cuales se demuestre la importancia del buen uso de los dispositivos.	Jefe de Corte-Inspectores de calidad-Jefe de Producción	24/08/2012	Mensual	100			0%
Mal aseguramiento de la guía de la escuadradora .	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía	* Fabricar guías de materiales más resistentes que la madera.	Jefe de Corte-Inspectores de calidad	03/09/2012	03/09/2012	50			0%
		* Estandarizar guías en todas las máquinas de corte.	Jefe de Corte-Inspectores de calidad	03/09/2012	Bimensual	50			
Mal calibrado de la escuadradora .	Realizar procedimientos de cómo calibrar correctamente la escuadradora	* Realizar un estudio de los métodos adecuados de cortar la madera.	Jefe de Producción-Jefe del área de Corte	28/08/2012	28/09/2012	20			0%
		* Crear e implementar procedimiento de corte	Jefe de producción	28/09/2012	05/10/2012	50			
		* Socializar el procedimiento a los trabajadores.	Jefe de producción	05/10/2012	06/10/2012	30			
Tipo de disco de corte.	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)	* Realizar una investigación en la cual se calcule el tiempo de vida útil de las maquinarias y sus piezas.	Jefe de Producción-Supervisor de Mantenimiento	15/10/2012	17/11/2012	30			0%
		*Implementar procedimiento para realizar mantenimiento preventivo.	Jefe de Producción-Supervisor de Mantenimiento	19/11/2012	26/11/2012	30			
		* Programar mantenimientos preventivos	Supervisor de Mantenimiento	27/11/2012	01/12/2012	20			
		*Verificar el cumplimiento del programa de mantenimientos preventivos	Jefe de producción	02/12/2012	Semanal	20			

Estandarización de los criterios del sistema de medición	Realizar procedimiento para estandarizar los criterios de aceptación o rechazo de piezas	*Creación del Dpto. de Calidad.	Gerencia General	15/01/2013	15/01/2013	30			0%
		*Crear un esquema de capacitación en común acuerdo con Muebles Jamar con el fin de estandarizar los criterios de medición de piezas tanto para los inspectores de calidad como para los jefes de área.	Coordinador de Calidad	04/02/2013	04/03/2013	30			
		*Gestionar ante Muebles Jamar la implantación del plan de capacitación.	Coordinador de Calidad	05/03/2013	11/03/2013	20			
		*Implementar el programa de capacitación.	Coordinador de Calidad- Muebles Jamar	05/04/2013	03/05/2013	10			
		*Evaluar periódicamente los conocimientos adquiridos.	Coordinador de Calidad	10/06/2013	15/06/2013	10			
Condiciones inadecuadas en el puesto de trabajo	Falta de orden en el área de trabajo	*Capacitar a los trabajadores en la metodología 5 Ss	Coordinador de Calidad	12/03/2013	23/03/2013	40			0%
		*Implementación de la Metodología 5 Ss.	Coordinador de Calidad-Jefe de Área- Jefe de Producción- Trabajadores	18/03/2013	20/04/2013	40			
		*Entregar incentivos a las cuadrillas que mejor implementen la metodología.	Coordinador de Calidad- Jefe de Producción- Jefe de Área	20/04/2013	Semanal	30			
	Ergonomía del área de trabajo	*Gestionar ante la ARP, capacitaciones que incluyan el tema “posiciones adecuadas al momento de	Jefe de Recursos Humanos	28/08/2012	28/09/2012	100			0%

		realizar una labor”.							
	Presencia de material particulado en el ambiente	Aislar y encerrar el área de las pulidoras manuales e instalarles extractores con sus respectivos filtros para atrapar el material particulado.	Jefe de Producción-Gerencia General	11/02/2013	11/03/2013	100			0%
Clima laboral	Falta de motivación laboral	Realizar jornadas periódicas en las cuales podamos incrementar el compromiso y sentido de pertenencia hacia la empresa.	Jefe de Recursos Humanos-Jefes de Área	12/02/2013	Bimensual	100			0%
	Estrés y presión laboral								
Mantenimiento de las herramientas de armado.	Crear un programa de mantenimiento preventivo y correctivo a las herramientas de armado	*Crear listado de herramientas de armado.	Supervisor de Mantenimiento-Jefe de área	28/08/2012	29/08/2012	30			0%
		*Realizar diagnóstico del estado de las herramientas de armado	Supervisor de Mantenimiento	15/09/2012	06/10/2012	30			
		*Crear un programa de mantenimiento del área de armado.		27/11/2012	01/12/2012	40			
Creación de procedimientos de armado de una alcoba.	Realizar procedimientos de cómo armar una alcoba.	* Realizar un estudio de los métodos adecuados de armar una cama.	Jefe de Producción-Jefe del área de Armado	12/06/2013	24/06/2013	30			0%
		* Crear e implementar procedimiento de armado.	Supervisor de calidad	24/06/2013	13/07/2013	40			
		*Socializar el procedimiento a los trabajadores.		15/07/2013	19/07/2013	30			

Tabla 4.10 Plan de mejoras.

4.5.3 Medición del impacto financiero

- a) Estimación del costo de reparación de un nochero y gavetas en el proceso de armado de acuerdo al porcentaje de rechazo semanal:

Tabla 4.11 Costo de devolución.

Lote diario		75	
Producción semanal		450	
Costo dev. (Prom.)		\$14000	
Semanas	Porcentaje de rechazo	Und. Rechazadas	Costo de devolución
1	20%	180	2.520.000
2	14%	126	1.764.000
3	13%	117	1.638.000
4	14%	126	1.764.000
5	16%	144	2.016.000
6	21%	189	2.646.000
7	13%	117	1.638.000

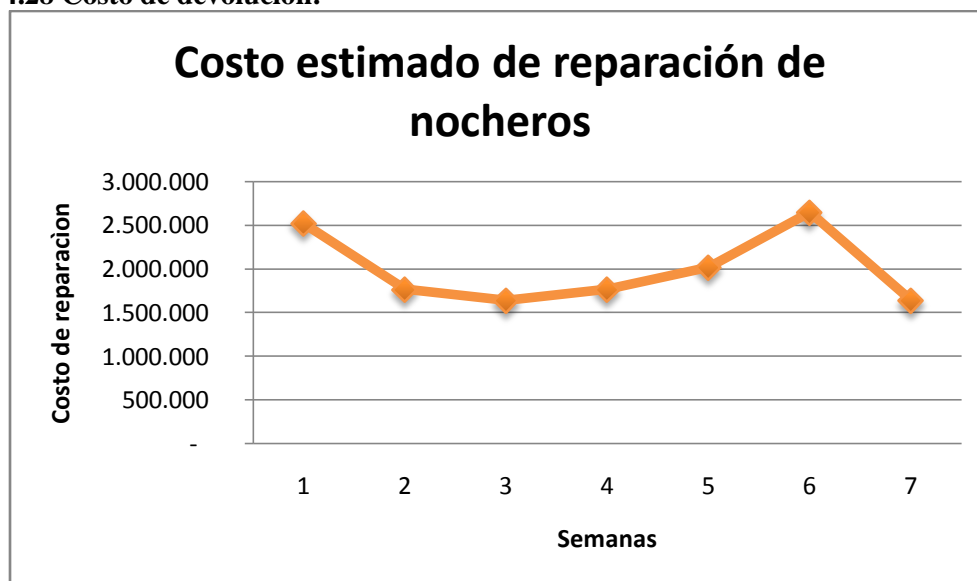
Teniendo en cuenta que la Fábrica de Muebles H&M Ltda. produce 450 alcobas semanales y como cada alcoba tiene 2 nocheros, esto nos da un total de 900 nocheros producidos semanalmente; evaluando las posibles causas que provocaría la devolución de un nochero por problemas de armado se obtuvo un costo promedio de \$14.000 por nochero reprocesado, para calcular el costo de la devolución semanal se tomó del formato de devoluciones internas el porcentaje de alcobas devueltas, logrando así calcular el costo de devoluciones internas, esta información fue tomada durante siete semanas (2 julio- 18 de agosto) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Und. Rechazadas (semanal) = Producción\ semanal * Porcentaje\ de\ Rechazo$$

$$Costo\ de\ devolución\ (semanal) = Costo\ de\ devolución * Und. Rechazadas$$

Obteniendo como resultado la siguiente gráfica:

Figura 4.28 Costo de devolución.

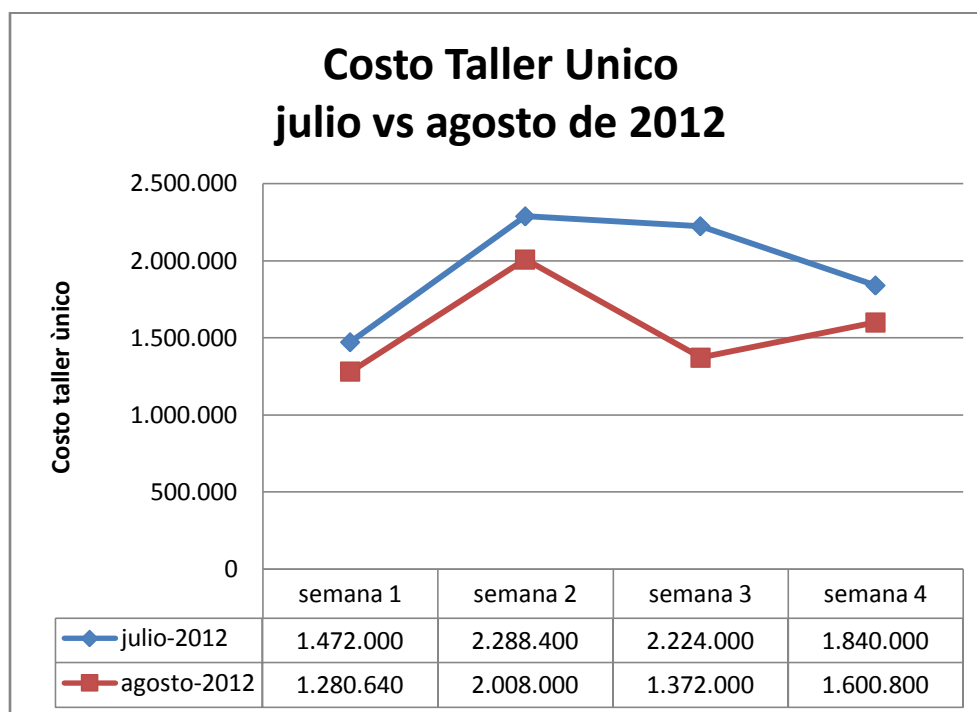


En la anterior gráfica se evidencia el comportamiento de los costos durante las 7 semanas estudiadas.

a) Estimación de impacto financiero:

En todo proyecto Seis Sigma es de vital importancia evaluar el impacto financiero con el fin de evidenciar los resultados económicos que representan la implementación del proyecto en la empresa.

Figura 4.29 Costo de taller único.



En el caso de la Fábrica de Muebles H&M Ltda., para evaluar el impacto financiero se tuvo en cuenta los descuentos cobrados por Taller Único⁴ de manera semanal, con lo cual se compararon los meses antes (Julio) y después (agosto) de implementar la metodología Seis Sigma en la empresa. Teniendo como resultado una reducción mensual de \$1.562.960 lo cual representa un ahorro anual de \$18.755.520.

En la figura 4.29 se observa el comportamiento de los cobros de realizados por el taller único en el mes de julio y agosto de 2012.

4.6 FASE 5: CONTROLAR

Al no generar acciones de control se puede caer en el riesgo que se repitan los errores; para ello, se realizaron las siguientes medidas de control las cuales se presentan a continuación:

⁴**Taller Único:** lugar en el cual Muebles Jamar realiza los arreglos de las piezas por garantía del producto.

4.6.1 Medir el impacto de las estrategias de mejoras con nuevo análisis de capacidad

Semanalmente se actualizarán los datos obtenidos en el sistema de medición ya existente, con el fin de generar nuevas cartas de control P y Análisis de Capacidad Binomial, lo cual permitirá verificar que el proceso se encuentra bajo control estadístico; como se muestra en siguiente ejemplo (Figura 4.30).

Figura 4.30 Análisis de capacidad y carta P actualizado.

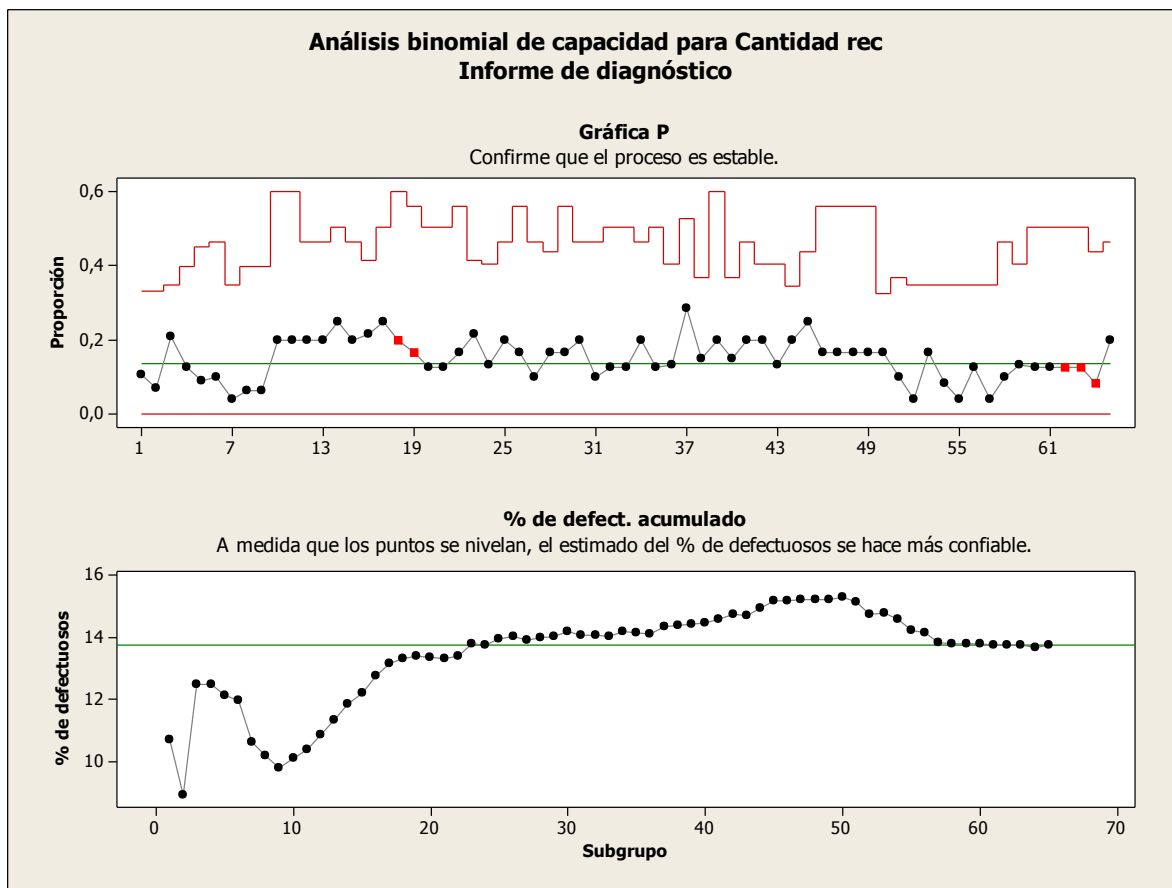
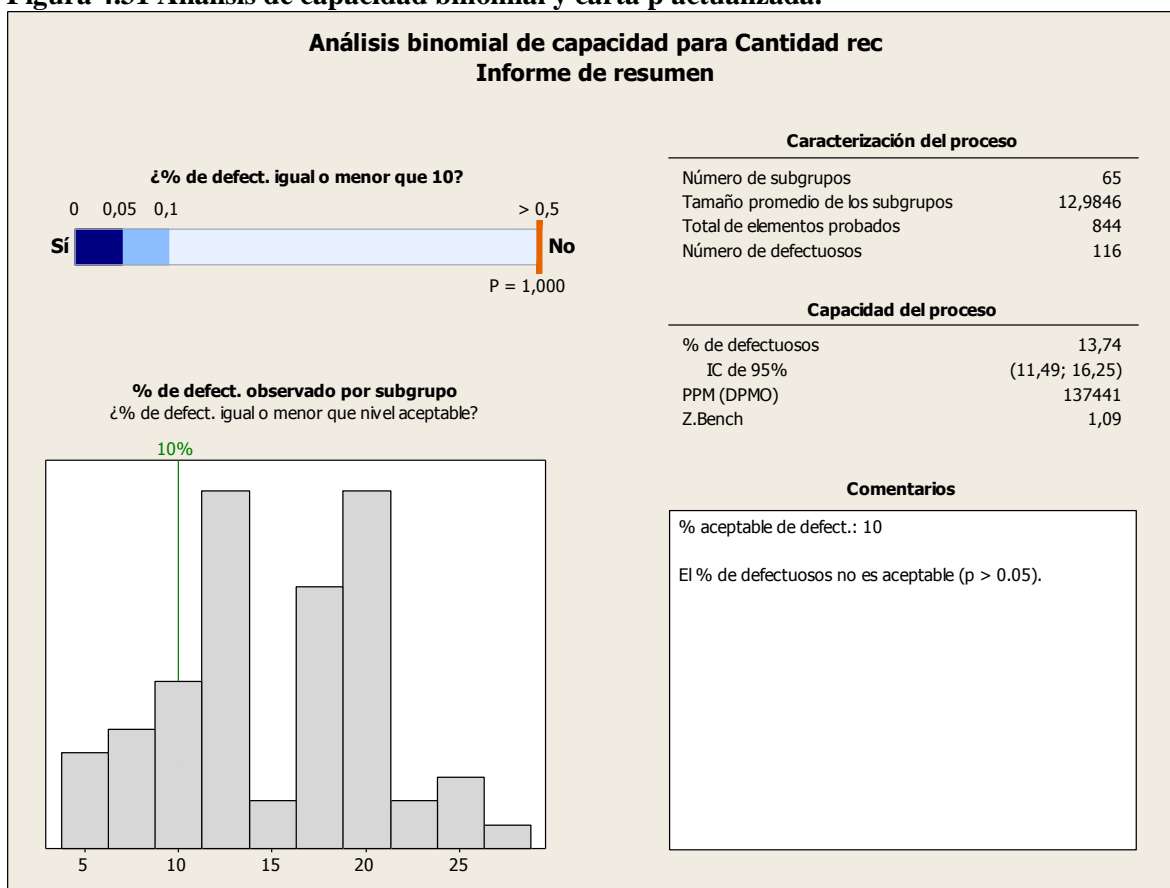


Figura 4.31 Análisis de capacidad binomial y carta p actualizada.



- Comparación antes y después del análisis de capacidad binomial y carta P:

En el primer análisis de capacidad y carta P los resultados obtenidos de las métricas Seis Sigma que se desean medir fueron:

- DPU=20,21%
- DPMO=202.100
- DPO=20,21%
- NIVEL SIGMA= 2

Además, se logra observar que el proceso no se encuentra en control estadístico debido a que existen gran cantidad de causas especiales o datos atípicos.

Caso contrario ocurre con el segundo análisis de capacidad y carta P, donde se observa que el proceso presenta un mejor comportamiento y una disminución significativa de las métricas Seis Sigma, esto se da debido a los planes de mejora implementados:

- DPU=13,74%
- DPMO=137.741
- DPO=13,74%
- NIVEL SIGMA= 2,59

Aunque no se cumplió con el objetivo de aumentar el nivel Sigma a 3, se evidencia que se realiza un seguimiento y control al plan de acción propuesto en este estudio, la Fábrica de Muebles H&M Ltda., alcanzará el nivel Seis Sigma propuesto.

4.6.2 Creación e implementación de indicadores de devoluciones internas de calidad

Se diseñó un sistema de medición para establecer indicadores de calidad o devoluciones internas semanales en cada una de las áreas de producción. El cual nos permite hacer seguimiento y control de los problemas que se presenten y la creación de sus respectivos planes de acción. Para ello fue necesario utilizar el formato establecido en el sistema de medición de Seis Sigma (Véase el ANEXO 3).

Se organiza la información entregada por cada uno de los inspectores. Se identifica el número de inspecciones que se realizan, la semana correspondiente a la evaluación, el tipo de producto y cantidad de piezas inspeccionada. Además, el número de piezas rechazadas (frecuencia) en cada una de las inspecciones, el porcentaje de rechazo (cantidad de piezas rechazadas/cantidad de piezas inspeccionadas*100) y por último, anotamos el motivo de cada devolución, los cuales son la causales que se desean identificar.

Teniendo en cuenta los datos ya clasificados por cada proceso y causal de armado podemos utilizar diagramas de Pareto para identificar los causales que más nos impactan en el proceso y generar sus respectivos planes de acción.

4.6.3 Seguimiento de planes de acción

Para garantizar que se lleven a cabo la ejecución de los planes de acción correspondientes a cada uno de los problemas presentados y el seguimiento respectivo para que los resultados se mantengan, se acordó realizar reuniones diarias de máximo media hora de duración, donde se presentarán los siguientes temas:

- El comportamiento de los indicadores interno de la semana.
- Indicadores de calidad de Muebles Jamar.
- Los reclamos presentados por los clientes, su respectiva descripción y las acciones que el técnico realizó para corregirlo.
- Fotos de los reclamos presentados.

El objetivo de estas reuniones es obtener un acta, donde se registran los compromisos adquiridos y esta será firmada por cada uno de los responsables de las actividades a realizar. Las actas serán revisadas en cada uno de las reuniones y el no cumplimiento de ella, es motivo de sanción o suspensión dependiendo del caso. Es importante aclarar que a esta reunión solo asistirán todos los inspectores y jefes de área de producción.

Figura 4.32 Reunión de calidad.



4.6.4 Seguimiento y control de medidas en los procesos de armado y corte

A continuación se evidencia la creación de dispositivos para garantizar la exactitud de las medidas en el proceso de armado.

a) Dispositivos de nocheros y gavetas:

Figura 4.33 Dispositivos de nocheros y gavetas.



b) Además por solicitud de la empresa se creó dispositivos para los largueros y proceso de inspección de armado de camas:

Figura 4.34 Dispositivos de gavetas y armado de camas.



Otra de las áreas en las cuales se crearon dispositivos (guías de corte) con el fin de eliminar la variabilidad en las piezas fue corte. En las siguientes imágenes se muestran algunos de los dispositivos diseñados para dicho fin.

Figura 4.35 Guías de máquina de corte.



4.6.5 Cierre de proyecto.

CONCLUSIÓN

La mejora de la calidad no es una moda como muchas personas lo pueden creer, este es un factor que se ha convertido en un requisito esencial para que una empresa se mantenga a la cabeza de un mercado sumamente cambiante. La metodología Seis Sigma asegura la rentabilidad y el éxito de las empresas. Esta metodología contribuye a la mejora de los procesos, permite no solo llegar a un mejoramiento de la calidad sino asegurar que la satisfacción del cliente se mantenga en un nivel alto una vez terminado el proceso.

Durante la realización de este proyecto fue notoria la aplicación de varias herramientas estadísticas, con las cuales se lograron aportes importantísimos al momento de la implementación de cada fase del proceso DMAIC. Estas herramientas fueron bases fundamentales al momento de analizar la situación actual de la empresa e identificar las posibles causas que generaban los problemas presentados en los procesos de fabricación de alcobas y la realización de sus respectivos planes de mejoras. Algunas de las herramientas que se utilizaron fueron: Diagramas de Pareto, Diagramas de Ishikawa, Matriz Causa y efecto, AMEF, validación del sistema de medición y análisis estadísticos (media, varianza, ANOVA, gráficos de cajas, entre otros).

Un punto a destacar es la necesidad de contar con un buen equipo de trabajo, el cual debe estar conformado por personal que labore directamente con la empresa y de esta manera poder avanzar en cada fase de implementación de la metodología Seis Sigma; con ellos, el aporte de sus conocimientos y experiencias en los procesos internos de la fábrica permitirá tener un mejor panorama de la situación actual. De igual forma, despertar un interés por parte de los operarios ya que les permite mejorar su puesto y condición de trabajo, crea conciencia el hecho de imponer la calidad en cada una de las actividades o tareas que se realizan para llevar a cabo la fabricación de alcobas.

Otro punto a destacar, es el de contar con el tiempo suficiente para lograr la implementación de la metodología Seis Sigma; un correcto desarrollo de las fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar tendrá como resultado una aplicación efectiva de dicha metodología y con ello obtener los mejores beneficios.

Es importante resaltar la forma como la metodología Seis Sigma marca un camino trascendental en la Fábrica de Muebles H&M Ltda., le genera resultados favorables y además ayuda a agregar valor al negocio. Tomando como referencias las métricas trazadas para llevar a cabo la evaluación del proyecto durante su desarrollo, se observó una mejora en el desempeño del proceso. Se redujeron las cantidades de unidades rechazadas por alguna no conformidad y por ende los costos generados por dichas reparaciones o procesos.

A raíz de las mejoras implementadas durante el desarrollo e implantación de la metodología Seis sigma, se observaron reducciones en el DPU, DPO, DPMO y un incremento en el nivel sigma. Es de tener en cuenta que estas fueron unas de las métricas que se utilizaron para medir las mejoras esperadas en el proceso de fabricación de muebles en madera en la Fábrica de Muebles H&M Ltda.

En el desarrollo y aplicación de la metodología Seis Sigma se establecen estrategias para el mejoramiento de la calidad y la productividad en el proceso de fabricación de muebles de madera, en nuestro caso Alcobas. Además, se deja como antecedente para que la Fábrica de Muebles H&M Ltda., emplee esta metodología en otros procesos con otro tipo de problemática. De igual manera, este proyecto puede replicarse en otras empresas sin importar el tamaño y su actividad económica.

RECOMENDACIONES

Llevar a cabo la implementación de la metodología Seis Sigma con el fin de mejorar el proceso de fabricación de muebles en madera dentro de la Fábrica de Muebles H&M Ltda., requiere del trabajo en equipo por parte del personal que labora en la empresa, siendo este un factor indispensable para poder avanzar y desarrollar cada una de las fases del proceso DMAIC. Con el trabajo en equipo se aporta el conocimiento interno que permite identificar de mejor manera la problemática actual de la Fábrica de Muebles H&M Ltda.

Seis Sigma proporciona a las empresas herramientas que mejoran la capacidad de sus procesos, incrementa su nivel de funcionamiento y disminuye la variabilidad de los mismos. De este modo se reducen los defectos, se eleva la moral de los empleados, se mejora la calidad de los productos lo cual repercute en un mejor beneficio económico para la empresa. Cabe anotar, que dichas herramientas se deben utilizar en el lugar correcto y en el momento indicado.

Teniendo como base la experiencia adquirida durante el desarrollo de cada una de las fases del proyecto Seis Sigma en la empresa, surgieron las siguientes recomendaciones:

1. Invertir el tiempo necesario en la etapa de definición y selección del proyecto con el fin de garantizar que sea el indicado, de esta manera llevar a cabo su implementación y obtener de él el mayor beneficio posible logrando un mejoramiento continuo de los procesos.
2. Estandarizar los sistemas de medición. Velar que todos los sistemas o dispositivos que se utilicen para inspeccionar o controlar las medidas sean los mismos que utilicen los operarios y los inspectores en cada área en trabajo. Además, estas herramientas deben ser de fácil manejo y entendimiento para sus usuarios debido a que una mala utilización u operación puede ocasionar errores en la medición y aumentar la variabilidad de las medidas.
3. Realizar e implementar procedimientos para llevar a cabo la operación de corte teniendo en cuenta cada uno de los pasos que esta actividad requiere. Con esta recomendación se pretende disminuir los errores de operación durante la ejecución de una actividad de corte y por ende disminuir la variabilidad en las medidas.
4. Establecer dispositivos o patrones de medidas en el proceso de armado.
5. Estandarizar los criterios de evaluación e inspección de cada uno de los procesos de fabricación de las alcobas.

6. Crear un departamento de control de calidad que garantice el seguimiento, vigilancia y control y además que esté basado en la metodología Seis Sigma.
7. Exigir la inspección cada 2 horas de las medidas de corte.
8. Mejorar el diseño de los diferentes dispositivos utilizados en la empresa para el montaje de los diferentes accesorios.
9. Mejorar las condiciones ambientales dentro del área de corte. Colocar extractores de aire, dotar de elementos de protección personal.
10. Aplicar la metodología de las 5Ss.
11. Capacitar a operarios.
12. Implementar la metodología de los círculos de control.
13. Crear a través de la herramienta Microsoft Excel formatos para:
 - Apoyo a la gestión de inventarios.
 - Apoyo al mantenimiento de maquinaria de corte.
 - Permitir la gestión de mantenimientos en el área de corte.
 - Estandarizar medidas por modelo.
 - Lograr la estandarización de recibo y entrega de la fase de corte a otras fases del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Cáceres, Rafael. Estadística Multivariante y no paramétrico con SPSS: Aplicación a las ciencias de la salud, Ed. 3A. Madrid: Díaz Santos S.A, 1995. 408 P.

Arias Montoya Leonel, Castaño Benjumea Juan Carlos, Portilla Liliana Margarita. Aplicación de Six Sigma en las Organizaciones. Scientia Et Technica, vol. xiv, núm. 38, junio-sin mes, 2008, pp. 265-270.

El Sector del Mueble y la Madera frente al TLC. Revista M&M. Edición 49.

Gómez Fraile Fermín; Tejero Monzón Miguel y Villar Barrios José Francisco. Seis Sigma. Segunda edición, Madrid: Fundación Confemetal, 2003. 393P. ISBN 84-95428-88-1.

Gutiérrez Pulido Humberto, De la Vara Salazar Román. Control Estadístico De Calidad Y Seis Sigma. Segunda edición. Mc Graw – Hill, 2009. 475 P. ISBN 978-10-4724-9.

Henderson, G. Robin. Six Sigma Quality Improvements with Minitab. First edition: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2011. 514 P. ISBN 978-0-470-74175-7.

Jeffrey N. Lawenthal. Guía para la aplicación de un proyecto Seis Sigma. Fundación Confemetal, 2002. 71P. ISBN 84-95428-84-0.

Jiju Antony, Banuelas Ricardo and Ashok Kumar. Word Class Applications of Six Sigma: Real World Examples of Success. Elsewer Ltd., 2006.ISBN 97807506-6459-2.

Linderman Kevin, Schroeder Roger G., Zaheer Srilata, Choo Adrians. Six Sigma: A Goal-Theoretic Perspective. Minneapolis: Journal Of Operation Management, 2003. 11P.

M.A Varela Loyola José Antonio, M.C Flores Ávila Elena, M.C Tolomatl Michcol Jacobo. Disminución de Variación de un Proceso de Producción de Muebles con Seis Sigma. Tlaxcala: Conciencia Tecnológica, 2010. 8P.

Montgomery, Douglas C. y Woodall, William H. An Overview of Six Sigma. International Statistical Review. First Edition, 2008. 18P. ISSN 0122-1701.

Pyzdez, Thomas. The Six Sigma Handbook, McGraw-Hill, 2003.850P.

Vilar Barrios, José Francisco. Control estadístico de los procesos. España. FC Editorial, 2005. 512 p.

Wiley, John & Sons, Inc. Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods. Second Edition. Texas: Forrest W. Breyfogle III, 2003. 1231 P. ISBN 0-471-26572-1.

Xingxing Zu, Lawrence D. Fredendall, Thomas J. Douglas. The Evolving Theory of Quality Management: The Role Of Six Sigma. Journal Of Operations Management, 2008. 21P.

ANEXOS

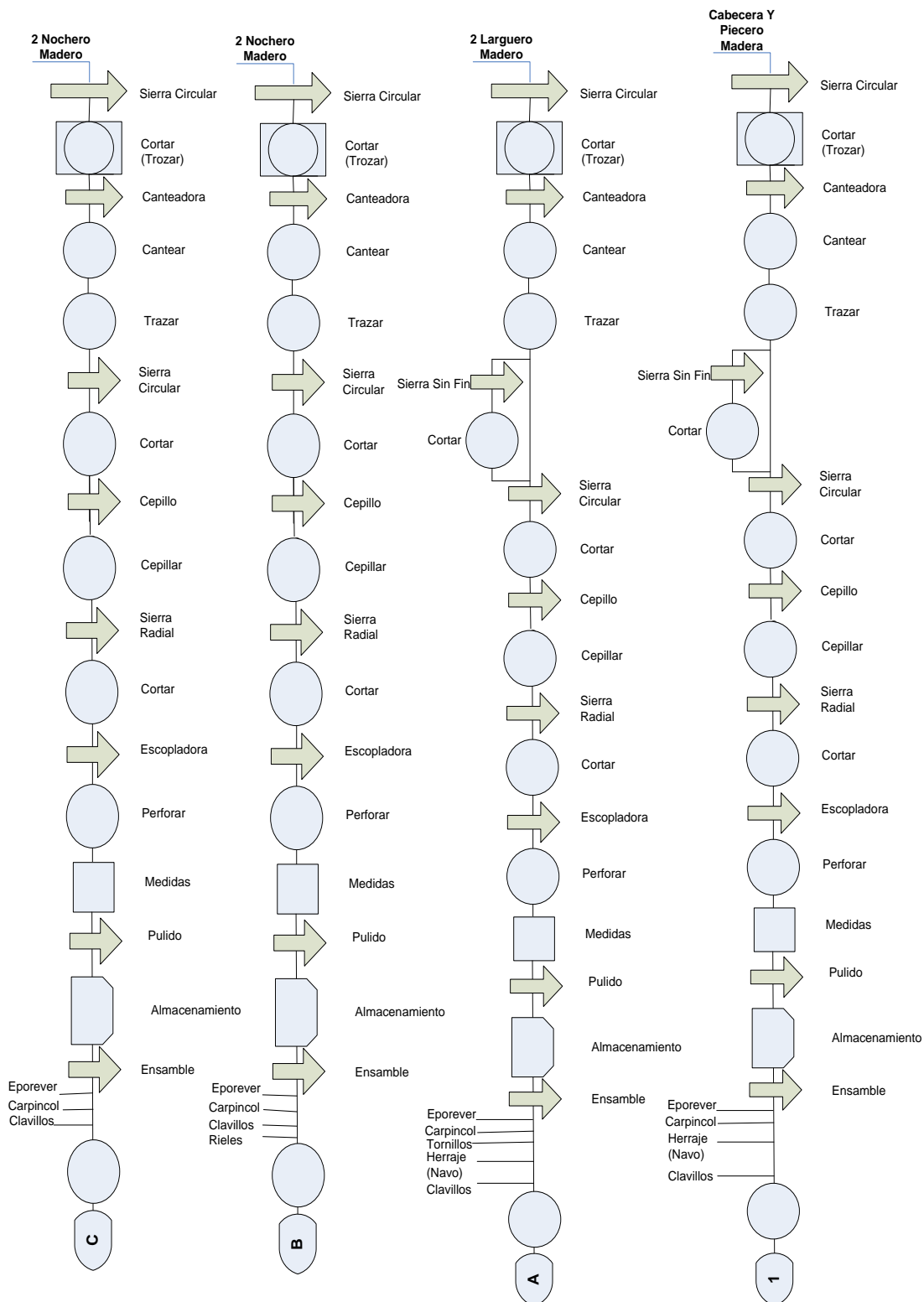
ANEXO 1

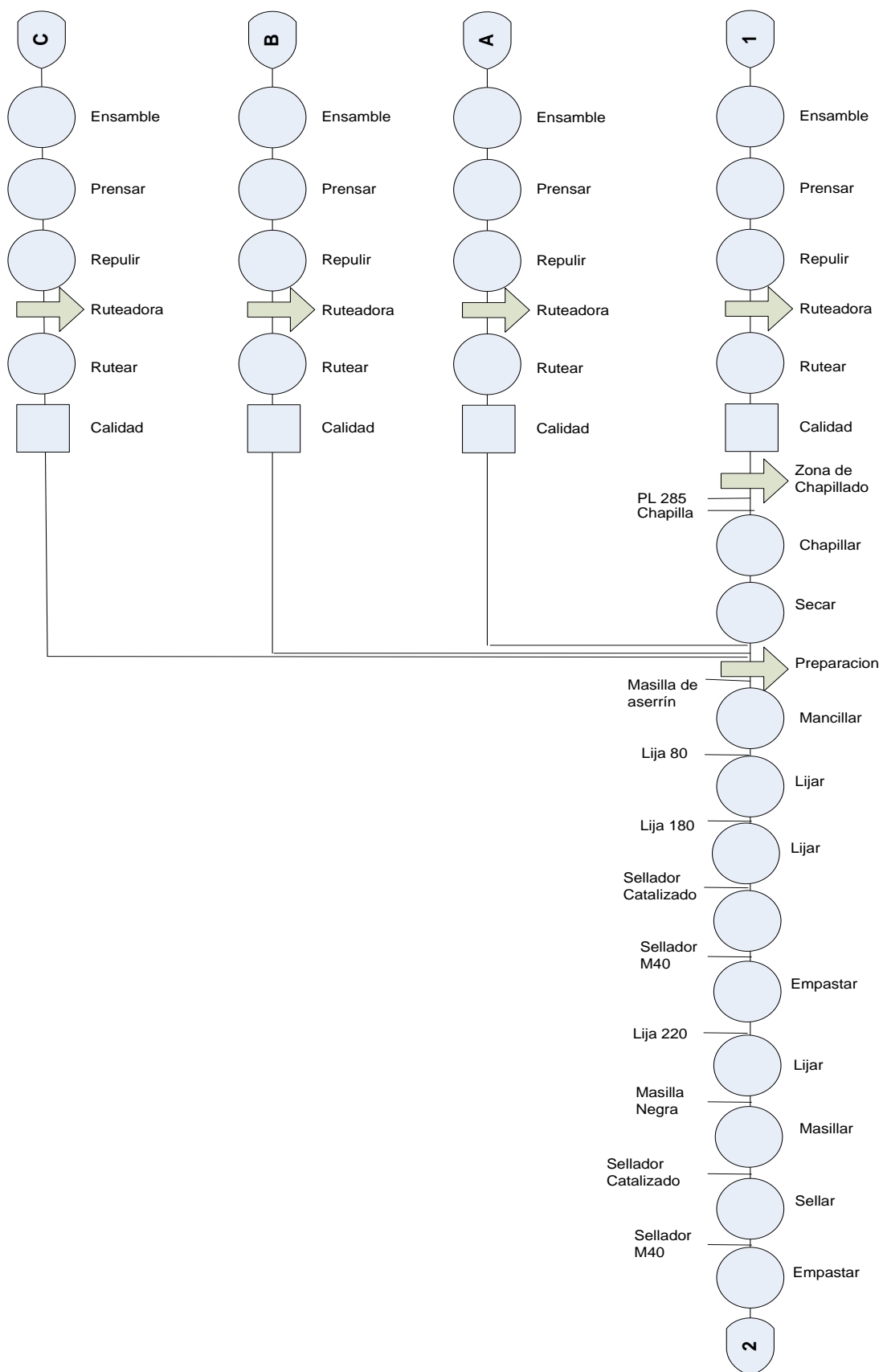
EJEMPLO DE TABLA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS HISTÓRICOS DE SERVICIOS:

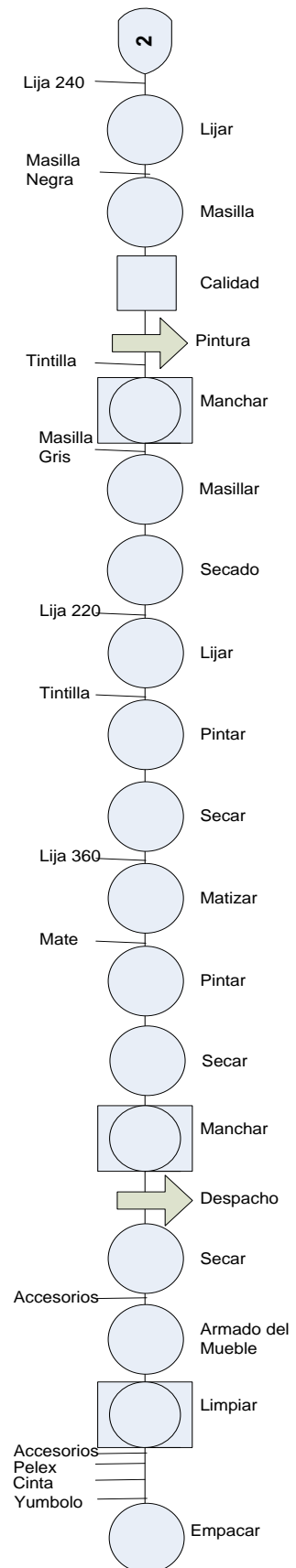
mes	Referencia	Área					numero de servicios totales mes	Costo Total
		Plaga	Secado	Armado	Pintura	Empaque		
ene-11	ALCOBA 1:40 BELLINI CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE	1		2	2		49	3.688.002
	ALCOBA 1:40 BIELLA CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE		3	7	2	1		
	ALCOBA 1:40 ESTRASBURGO EVOLUTION CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE		1	1	3	1		
	ALCOBA 1:40 ROSET CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE			1				
	ALCOBAS 1:40 TIJUANA CLASICO TINTILLA CAMELO MATE				1			
	ALCOBA 1:40 ZAGREY TINTILLA CONTENPORANEO CAMELO MATE		2		1			
	ALCOBA 1:60 BIELLA CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE		2	2	1	3		
	ALCOBA 1:60 BELLINI CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE		1					
	ALCOBA 1:60 ESTRASBURGO EVOLUTION CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE			1				
	ALCOBA 1:60 ROSET CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE			1	2			
	ALCOBA 2:00 X 2:00 BELLINI CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE		1	1		1		
	ALCOBA 2:00 X 2:00 ROSET CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE			1				
	ALCOBA 2:00 X 2:00 ZAGREY CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE			1				
	ALCOBA JUVENIL PIACENZA 1:00 CONTEMPORANEO TINTILLA CAMELO MATE			1				

ANEXO 2

DIAGRAMA DE PROCESOS:








ANEXO 3

FORMATO DE DEVOLUCIONES INTERNAS:

FORMATO DE DEVOLUCIONES INTERNAS																							
SECCION : Armado																							
NO	FABRICA DE MUEBLES 			CANTIDAD INSPECCIONADA	CANTIDAD RECHAZADA TOTAL	PEGAS ABIERTAS	DESNIVELADO	MADERA RAJADA	MADERA TORDIDA	DILATADO	MAL RUTEADO	TRIPLEX CON DEFECTO DI	HUELLA DE MAQUINA	DESPRENDIMIENTO DE T	GABETAS O PUERTAS DE	CLAVOS VISIBLES	MALENSAMBLE	DESPRENDIMIENTO DE P	DESAJUSTADO	INJERTO VISIBLE	CHAPILLA	PROBLEMAS DE MDF	OTROS
	PRODUCTO																						
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							

Además, el formulario también nos ayuda identificar el personal implicado en las devoluciones y anotar las diferentes observaciones de la evaluación.



FORMATO DE DEVOLUCION DE MERCANCIA

Nº	Otros Motivo

Nº	Personal Implicado	Nº	Personal Implicado

Observaciones : _____

Revision Realizada.

Responsable De Area.

Revision H&M

ANEXO 4
MATRIZ CAUSA Y EFECTO:

	30	22	15	13	12	8			
CAUSAS	Pegas Abiertas	Falto Lijado	Clavos Visibles	Gavetas Defectuosas	Mala colocación de herrajes	Suciedad de Pegantes	TOTAL	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
Falta de conocimiento para la operación de la herramienta	9	9	9	9	9	9	900	3%	3%
Habilidad del trabajador	9	9	9	9	9	9	900	3%	5%
Falta de capacitación en uso de dispositivos	9	9	9	9	9	9	900	3%	8%
Forma de utilizar las herramientas	9	9	9	9	9	9	900	3%	11%
Estandarización del procedimiento	9	9	9	9	9	9	900	3%	13%
Mal procedimiento para ejecutar la tarea	9	9	9	9	9	9	900	3%	16%
Falta utilización de cartas de producción y explosión de los productos	9	9	9	9	9	9	900	3%	18%
Estandarización de actividades para el entregar al producto a la siguiente área	9	9	9	9	9	9	900	3%	21%
Falta de estandarización en los criterio para inspeccionar	9	9	9	9	9	9	900	3%	24%
Ausencia de instrumentos de medida	9	9	9	9	9	9	900	3%	26%
Inspección Insuficiente	9	9	9	9	9	9	900	3%	29%
Ausencia de herramientas adecuadas para el proceso de armado	9	9	9	9	9	5	868	3%	32%
Uso de herramientas inadecuadas para el proceso	9	9	9	9	9	0	828	2%	34%
Falta de experiencia.	9	5	9	9	9	5	780	2%	36%
Falta de orden en el área de trabajo	9	5	9	9	9	5	780	2%	38%
Falta de iluminación	9	5	9	9	5	9	764	2%	41%
Ergonomía del área de trabajo	9	9	5	5	9	1	724	2%	43%
Mala ubicación de los puestos de trabajo.	9	9	5	5	9	0	716	2%	45%
Puestos de trabajo inadecuados. No cumple con los estándares.	9	5	5	9	9	0	680	2%	47%
Pieza de madera mal cortada	9	0	9	9	9	0	630	2%	49%
Piezas defectuosas del área de corte	9	0	9	9	9	0	630	2%	51%

Dimensión errada	9	0	9	9	9	0	630	2%	52%
Mal calibrado de la madera	9	0	9	9	9	0	630	2%	54%
Falta de motivación laboral	9	0	1	9	9	5	550	2%	56%
Presencia de material particulado	9	1	5	5	1	9	516	2%	57%
Estrés y presión laboral	5	5	5	5	5	5	500	1%	59%
Alta temperatura ambiental	5	5	5	5	5	5	500	1%	60%
Desorden en el banco o área de trabajo	5	5	5	5	5	5	500	1%	62%
Condiciones del puesto de trabajo	5	5	5	5	5	5	500	1%	63%
Inconformidad con las materias primas	5	5	5	5	5	5	500	1%	65%
Falta de presión en el compresor	9	0	9	5	0	0	470	1%	66%
Mantenimiento de la pistola	9	0	9	1	0	0	418	1%	67%
Pistola dañada	9	0	9	1	0	0	418	1%	69%
Uso inadecuado del hidrómetro	9	0	9	0	0	0	405	1%	70%
Falta de competencia del trabajador	5	0	5	5	5	5	390	1%	71%
Almacenamiento temporal inadecuado de piezas	9	0	0	1	5	5	383	1%	72%
Tiempo de secado del pegante	9	0	0	0	0	9	342	1%	73%
Pegante de mala calidad	9	0	0	0	0	9	342	1%	74%
Pegamento inadecuado	9	0	0	0	0	9	342	1%	75%
Humedad	9	0	5	0	0	0	345	1%	76%
Madera húmeda	9	0	5	0	0	0	345	1%	77%
Distribución del área de trabajo	5	5	0	5	0	0	325	1%	78%
Prensas en mal estado	9	0	1	0	0	0	285	1%	79%
Falta de prensa	9	0	1	0	0	0	285	1%	80%
Mal prensado de las piezas	9	0	1	0	0	0	285	1%	80%
Corto tiempo para el proceso de secado	9	0	0	0	0	0	270	1%	81%
Mala colocación de tarugos	9	0	0	0	0	0	270	1%	82%
Mala preparación de Eporever	9	0	0	0	0	0	270	1%	83%
Uso del sistema de prensado	9	0	0	0	0	0	270	1%	84%

Falta de tarugos	9	0	0	0	0	0	270	1%	84%
Clavos inadecuados	0	0	9	9	0	0	252	1%	85%
Patrón de medida utilizado inadecuado	0	0	0	9	9	0	225	1%	86%
Falta de utilización de dispositivos	0	0	0	9	9	0	225	1%	86%
Patrones de medida inadecuados o en mal estado	0	0	0	9	9	0	225	1%	87%
Mal uso de los instrumentos de medición	0	0	0	9	9	0	225	1%	88%
Instrumentos de medida o patrones inadecuados o en mal estado.	0	0	0	9	9	0	225	1%	88%
Dispositivos inadecuados o en mal estado	0	0	0	9	9	0	225	1%	89%
Pulidora en mal estado	0	9	0	0	0	0	198	1%	90%
Falta mantenimiento en pulidoras	0	9	0	0	0	0	198	1%	90%
Falta procedimiento de Lijado	0	9	0	0	0	0	198	1%	91%
Lija inadecuada	0	9	0	0	0	0	198	1%	91%
Lija de mala calidad	0	9	0	0	0	0	198	1%	92%
Lija en mal estado	0	9	0	0	0	0	198	1%	93%
Falta de Mantenimiento de prensa	5	0	1	0	0	0	165	0%	93%
Colocación de clavos	0	0	9	0	0	0	135	0%	93%
Falta masilla	0	0	9	0	0	0	135	0%	94%
Clavillos de mala calidad	0	0	9	0	0	0	135	0%	94%
Falta de conocimiento para la operación de armado de una gaveta	0	0	0	9	0	0	117	0%	95%
Falta de estandarización de las gavetas	0	0	0	9	0	0	117	0%	95%
Ausencia de dispositivos de gavetas	0	0	0	9	0	0	117	0%	95%
Falta de utilización de cartas de producción y explosión de las gavetas	0	0	0	9	0	0	117	0%	96%
Dispositivos de colocación de herrajes defectuosos	0	0	0	0	9	0	108	0%	96%
Poco espacio para la colocación de herrajes	0	0	0	0	9	0	108	0%	96%
Mala colocación de herrajes	0	0	0	0	9	0	108	0%	97%
Falta estandarización de medidas en la colocación de herrajes	0	0	0	0	9	0	108	0%	97%
Ausencia de estandarización en los herrajes (diferentes dimensiones)	0	0	0	0	9	0	108	0%	97%

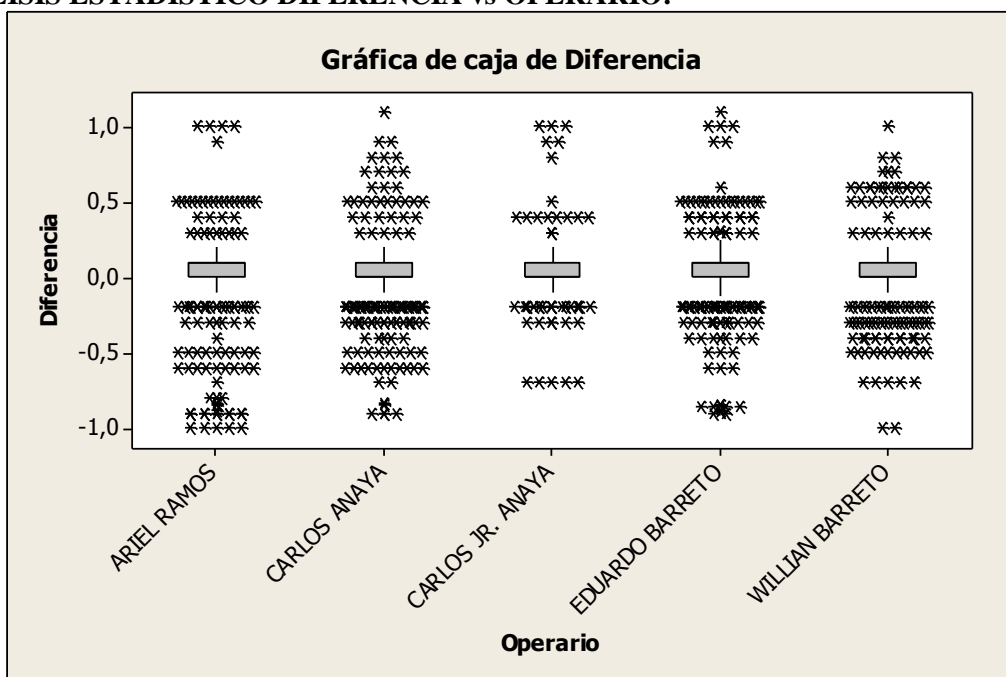
Herrajes defectuosos	0	0	0	0	9	0	108	0%	98%
Tipo de Herraje inadecuados	0	0	0	0	9	0	108	0%	98%
Tamaño de tornillos inadecuados	0	0	0	0	9	0	108	0%	98%
Falta de estandarización en los criterio para inspeccionar los herrajes	0	0	0	0	9	0	108	0%	98%
Problema familiares	1	1	1	1	1	1	100	0%	99%
Problemas económicos	1	1	1	1	1	1	100	0%	99%
Falta de seguridad en la ejecución de la tarea	1	1	1	1	1	1	100	0%	99%
Falta de herramientas para la limpieza del producto	0	0	0	0	0	9	72	0%	100%
Limpieza no realizada a tiempo	0	0	0	0	0	9	72	0%	100%
Exceso de pegantes	0	0	0	0	0	9	72	0%	100%
							34172	100%	

ANEXO 5
FORMATO DE EXPERIMENTO DE MEDIDAS

Hora	Dia	Operario	Herramienta	Producto	Componente	parte	Medida	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4	Valor 5	Referencia

ANEXO 6

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DIFERENCIA vs OPERARIO:



Estadísticas descriptivas: Diferencia

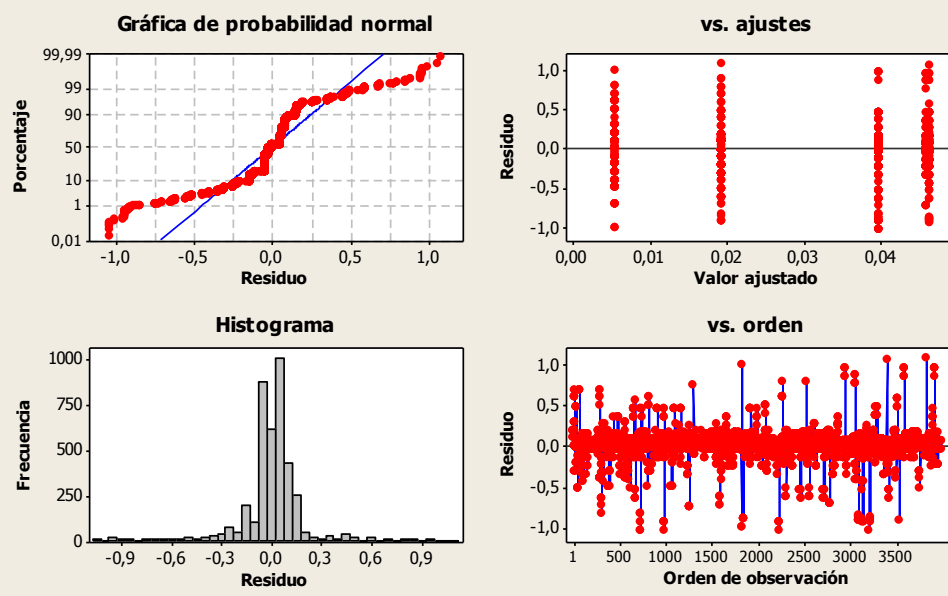
Variable	Operario	N	N*	Media	Error Estándar de la media	Desv.Est.
Diferencia	ARIEL RAMOS	1127	0	0,03980	0,00587	0,19695
	CARLOS ANAYA	870	0	0,01943	0,00641	0,18901
	CARLOS JR. ANAYA	375	0	0,04595	0,00922	0,17850
	EDUARDO BARRETO	1149	0	0,04633	0,00507	0,17199
	WILLIAN BARRETO	465	0	0,0055	0,0108	0,2335

Variable	Operario	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana	Q3
Diferencia	ARIEL RAMOS	0,03879	-1,00000	0,00000	0,10000	0,10000
	CARLOS ANAYA	0,03572	-0,90000	0,00000	0,00000	0,10000
	CARLOS JR. ANAYA	0,03186	-0,70000	0,00000	0,00000	0,10000
	EDUARDO BARRETO	0,02958	-0,90000	0,00000	0,10000	0,10000
	WILLIAN BARRETO	0,0545	-1,0000	0,0000	0,0000	0,1000

Variable	Operario	Máximo	Rango
Diferencia	ARIEL RAMOS	1,00000	2,00000
	CARLOS ANAYA	1,10000	2,00000
	CARLOS JR. ANAYA	1,00000	1,70000
	EDUARDO BARRETO	1,10000	2,00000
	WILLIAN BARRETO	1,0000	2,0000

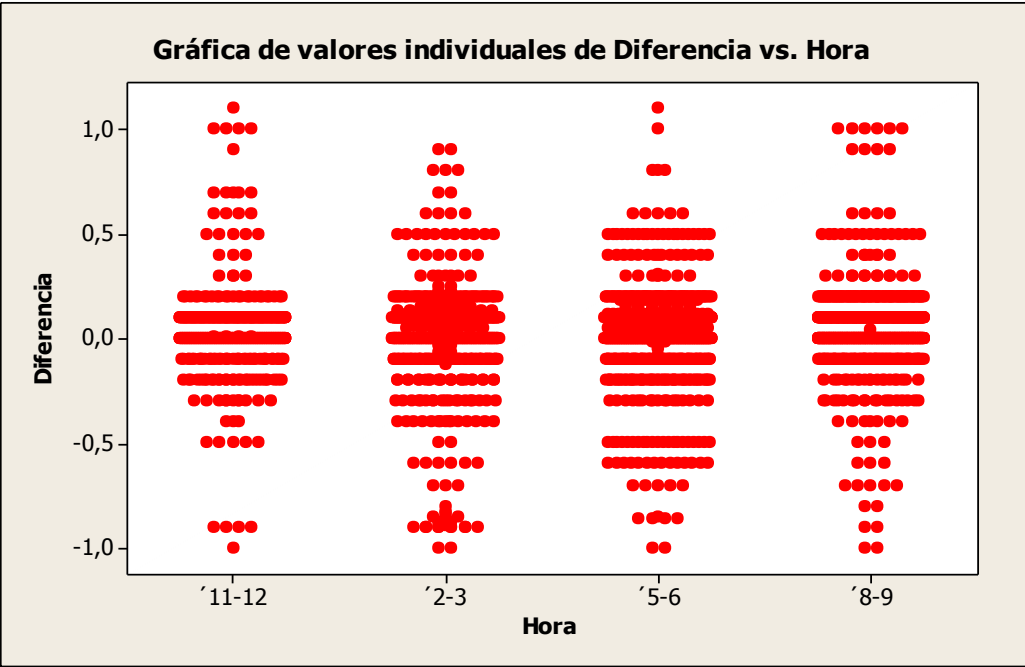
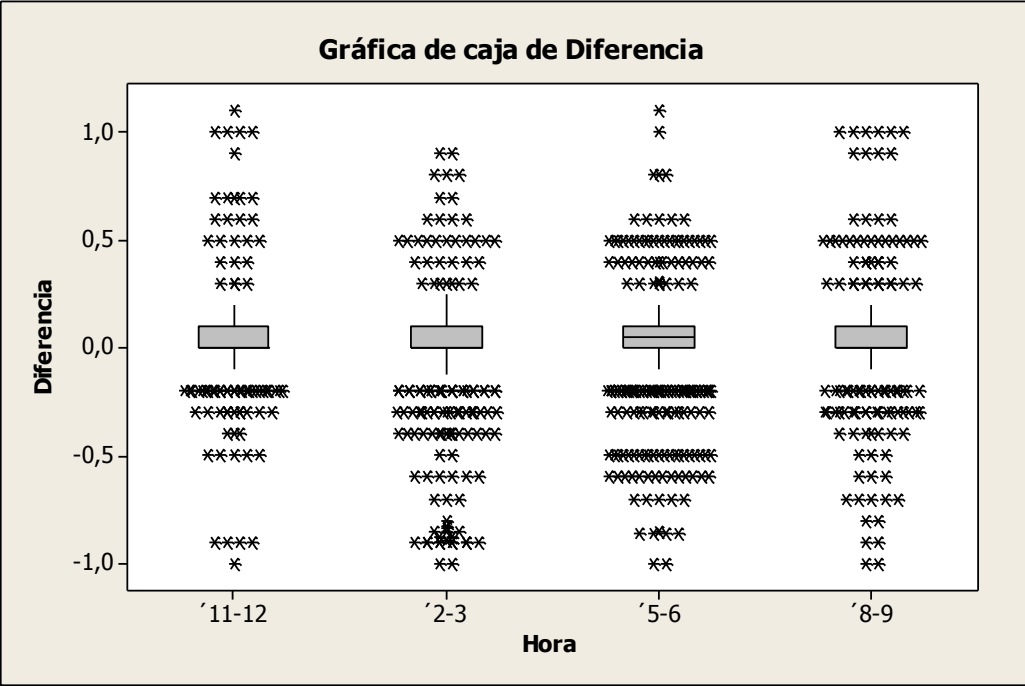
***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**

Gráficas de residuos para Diferencia



ANEXO 7

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DIFERENCIA vs HORA:



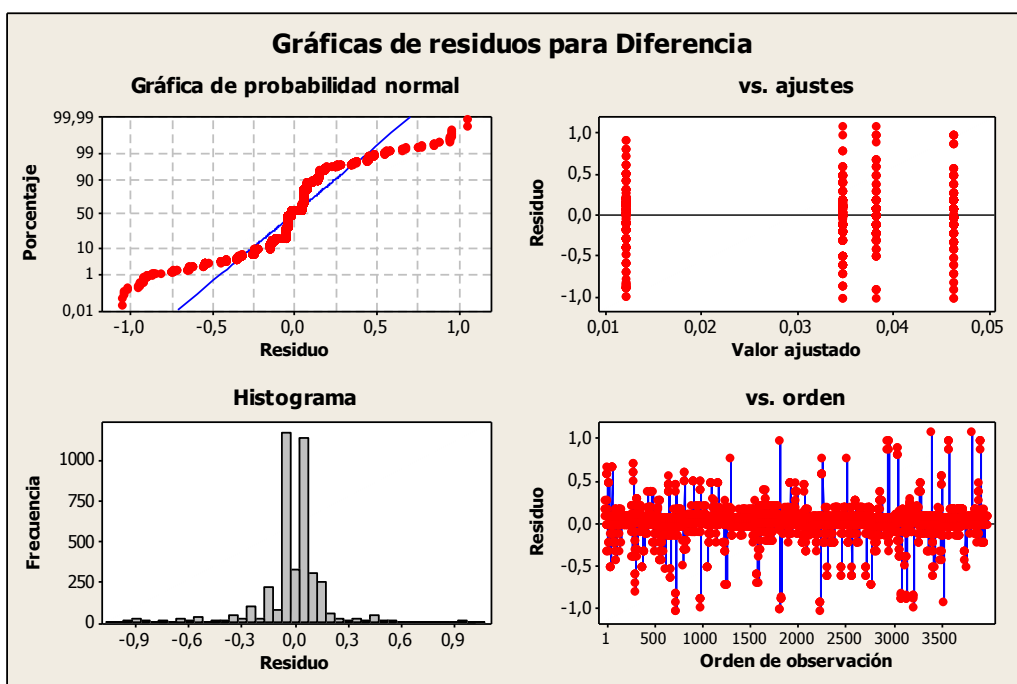
Estadísticas descriptivas: Diferencia

Variable	Hora	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza
----------	------	---	----	-------	----------------------------	-----------	----------

Diferencia	11-12	614	0	0,03834	0,00779	0,19306	0,03727
	2-3	842	0	0,01223	0,00772	0,22405	0,05020
	5-6	1425	0	0,03488	0,00472	0,17806	0,03170
	8-9	1105	0	0,04637	0,00543	0,18039	0,03254

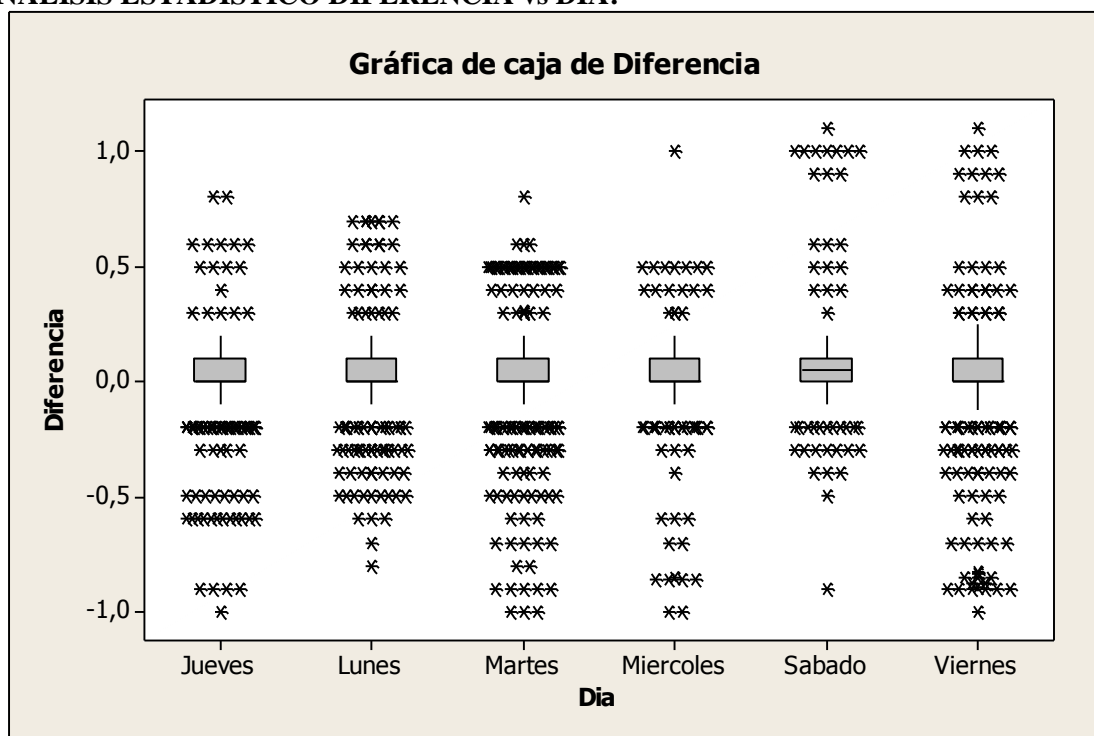
Variable	Hora	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Diferencia	11-12	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	1,10000	2,10000
	2-3	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	0,90000	1,90000
	5-6	-1,00000	0,00000	0,05000	0,10000	1,10000	2,10000
	8-9	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	1,00000	2,00000

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**



ANEXO 8

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DIFERENCIA vs DÍA:

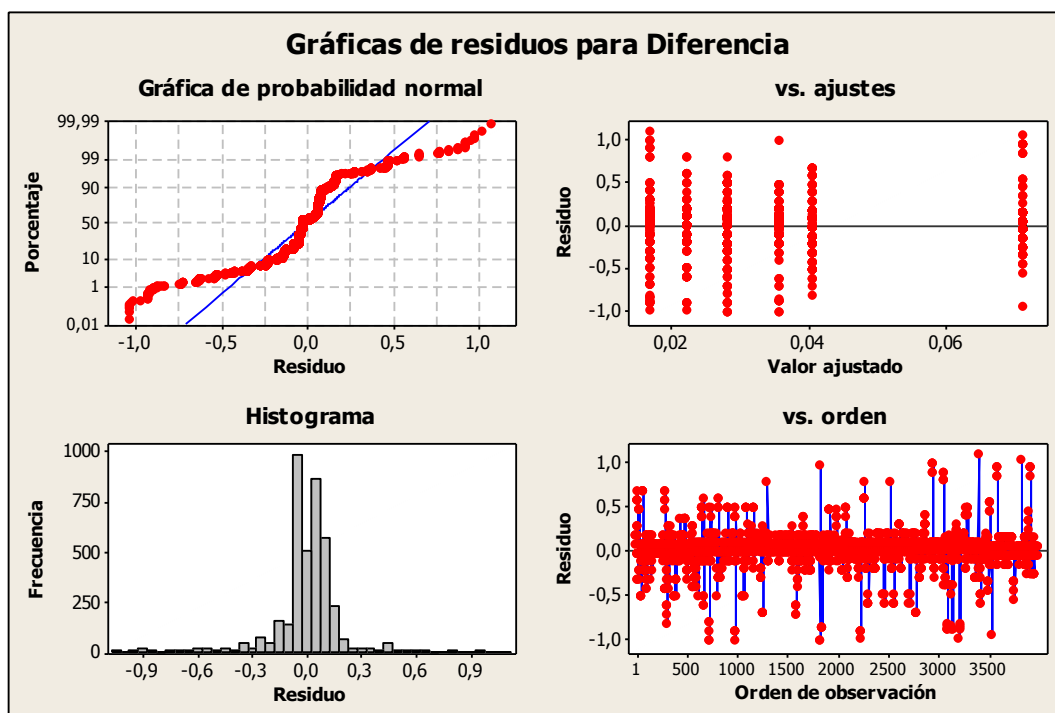
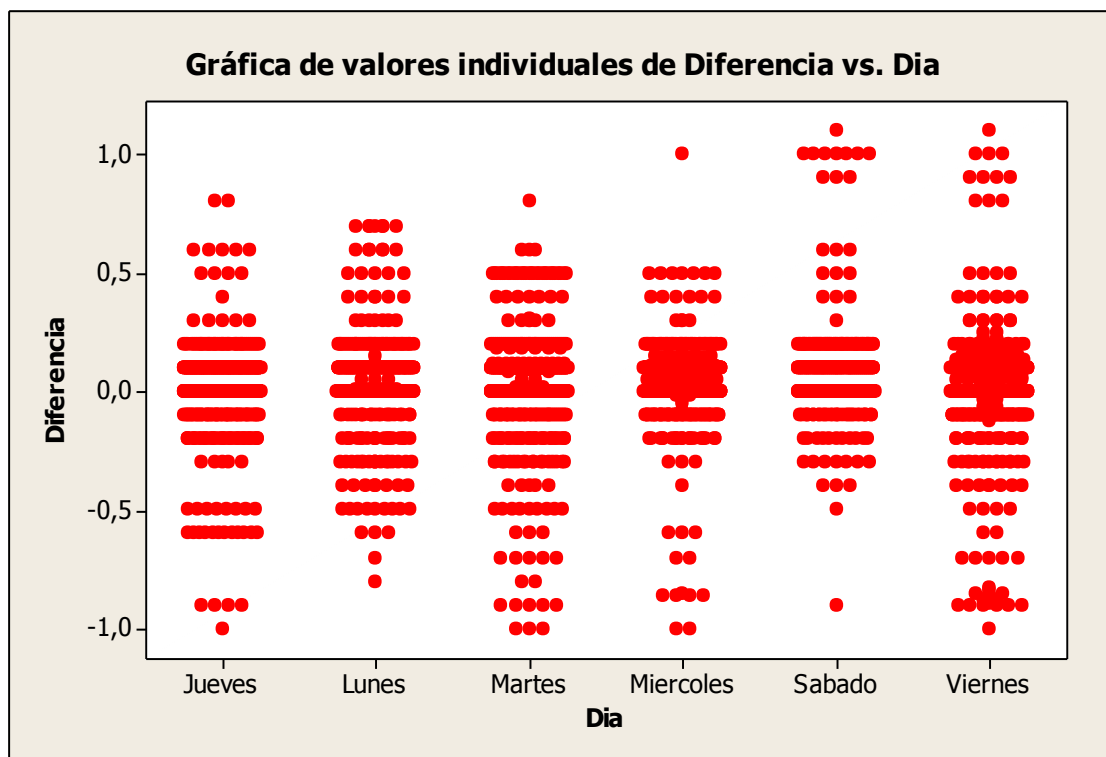


Estadísticas descriptivas: Diferencia

Variable	Día	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza
Diferencia	Jueves	705	0	0,02241	0,00662	0,17583	0,03092
	Lunes	554	0	0,04072	0,00801	0,18853	0,03554
	Martes	755	0	0,02838	0,00757	0,20813	0,04332
Miércoles	755	0	0,03584	0,00555	0,15260	0,02329	
Sábado	500	0	0,07140	0,00845	0,18898	0,03571	
Viernes	717	0	0,01706	0,00840	0,22486	0,05056	

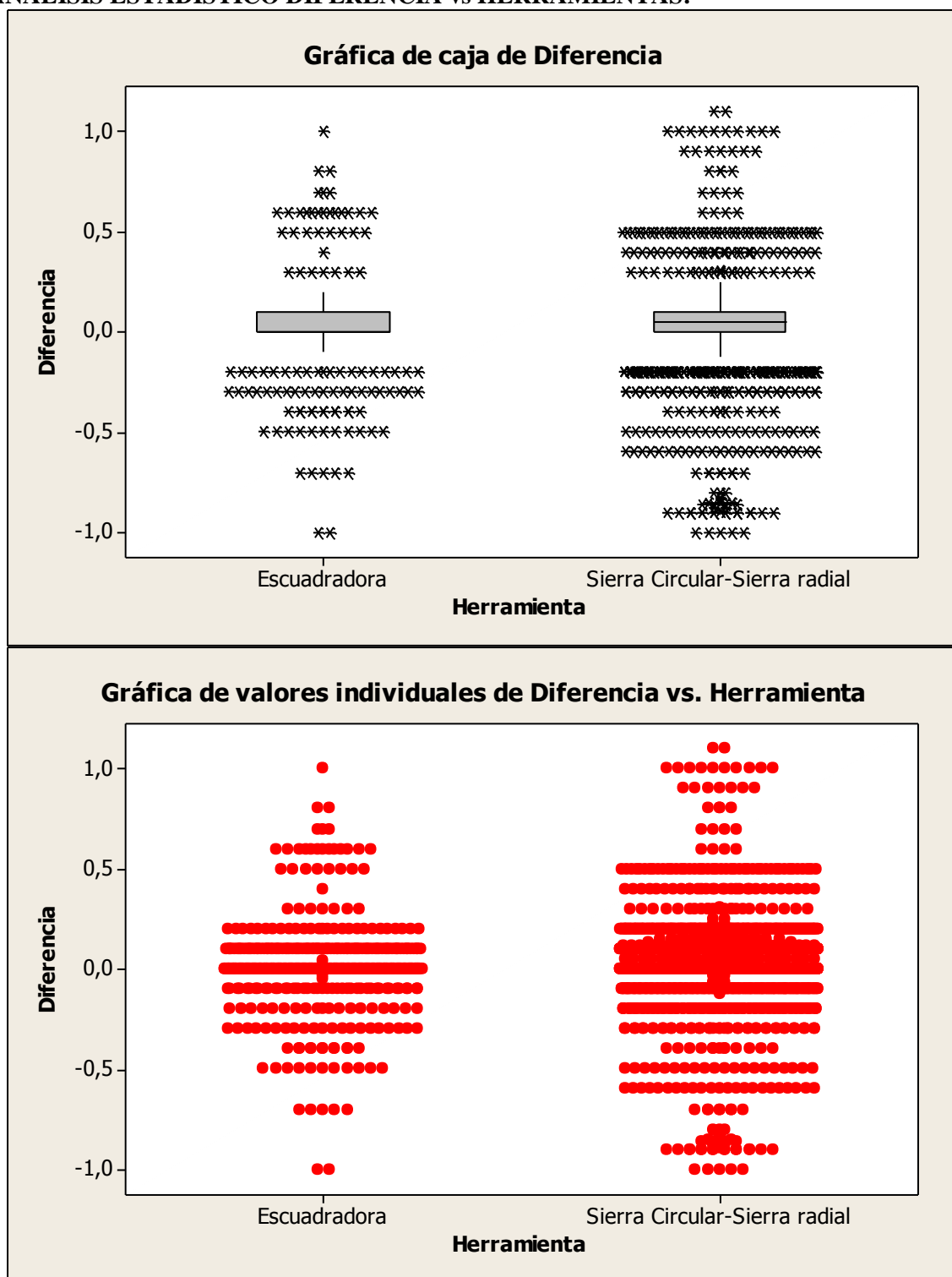
Variable	Día	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Diferencia	Jueves	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	0,80000	1,80000
	Lunes	-0,80000	0,00000	0,00000	0,10000	0,70000	1,50000
	Martes	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	0,80000	1,80000
Miércoles	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	1,00000	2,00000	
Sábado	-0,90000	0,00000	0,05000	0,10000	1,10000	2,00000	
Viernes	-1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,10000	1,10000	2,10000

*Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.



ANEXO 9

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DIFERENCIA vs HERRAMIENTAS:



Estadísticas descriptivas: Diferencia

Variable	Herramienta	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.
Diferencia	Escuadradora	465	0	0,0055	0,0108	0,2335
	Sierra Circular-Sierra r	3521	0	0,03755	0,00312	0,18541

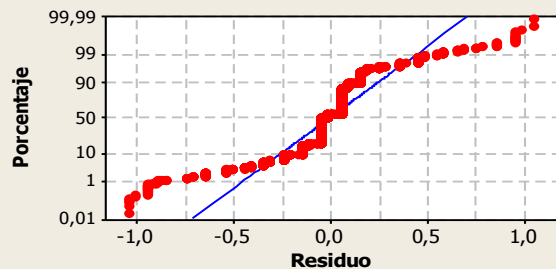
Variable	Herramienta	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Diferencia	Escuadradora	0,0545	-1,0000	0,0000	0,0000
	Sierra Circular-Sierra r	0,03438	-1,00000	0,00000	0,05000

Variable	Herramienta	Q3	Máximo	Rango
Diferencia	Escuadradora	0,1000	1,0000	2,0000
	Sierra Circular-Sierra r	0,10000	1,10000	2,10000

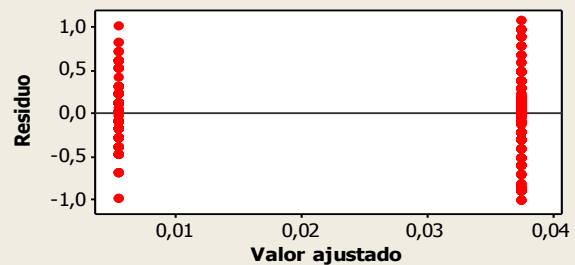
*Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.

Gráficas de residuos para Diferencia

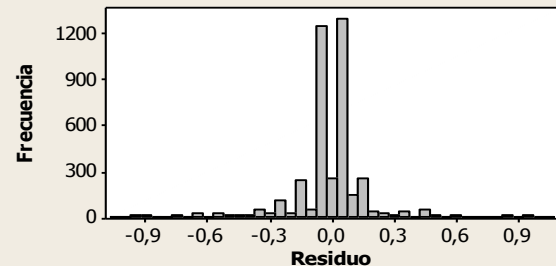
Gráfica de probabilidad normal



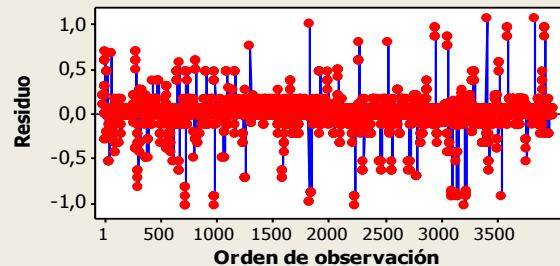
vs. ajustes



Histograma

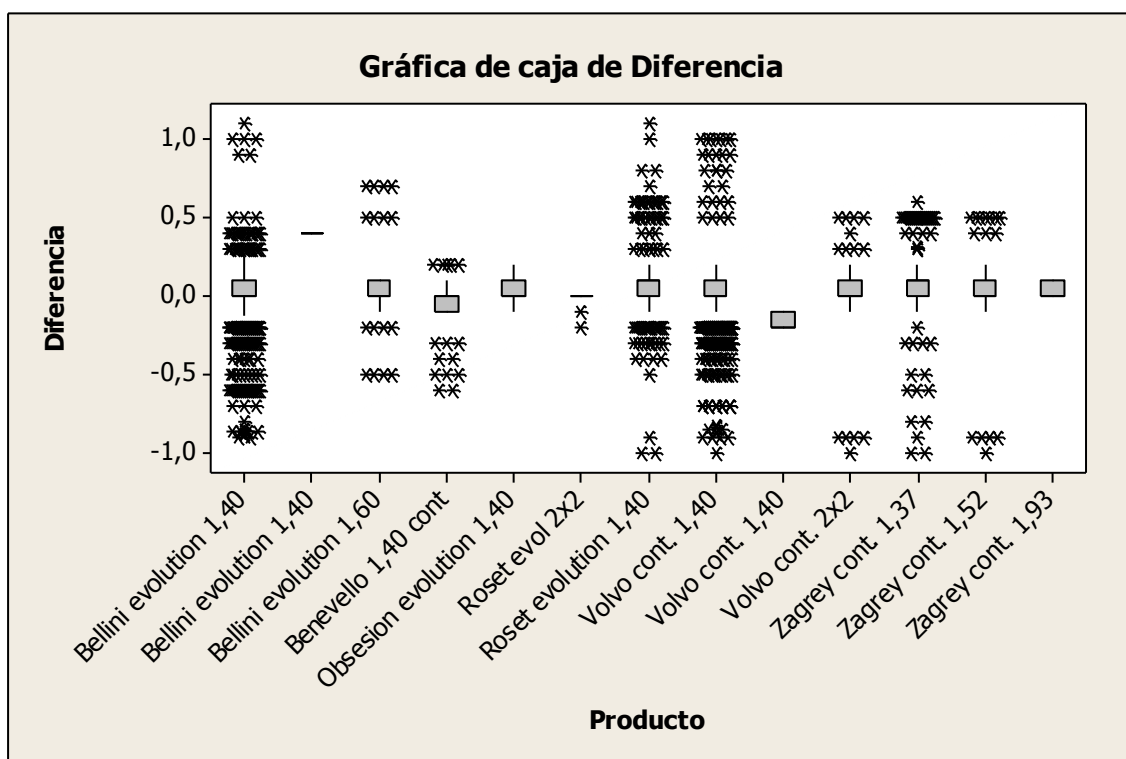
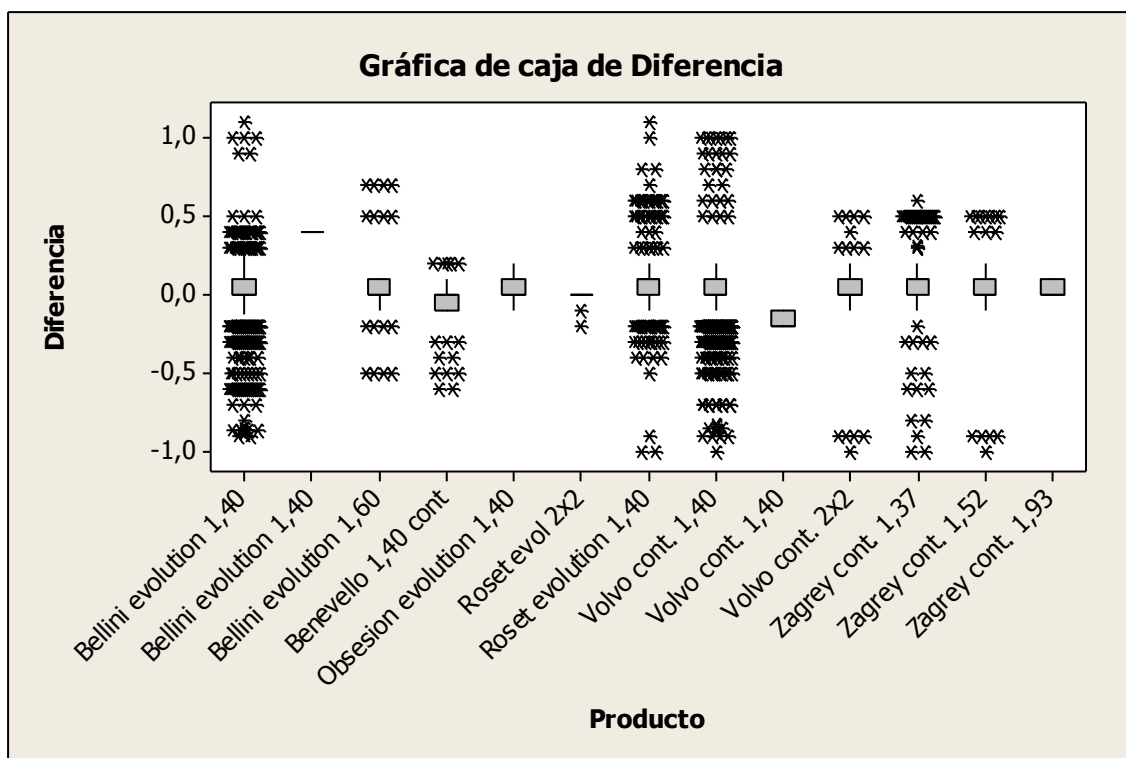


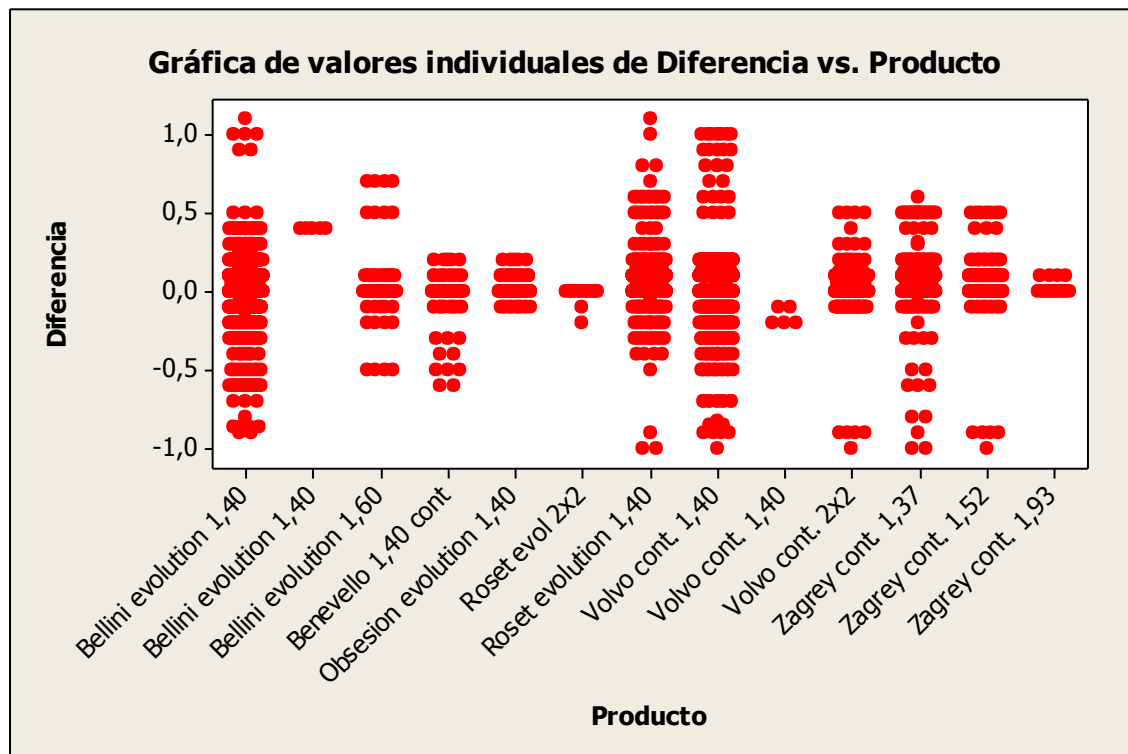
vs. orden



ANEXO 10

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DIFERENTES VS PRODUCTOS:





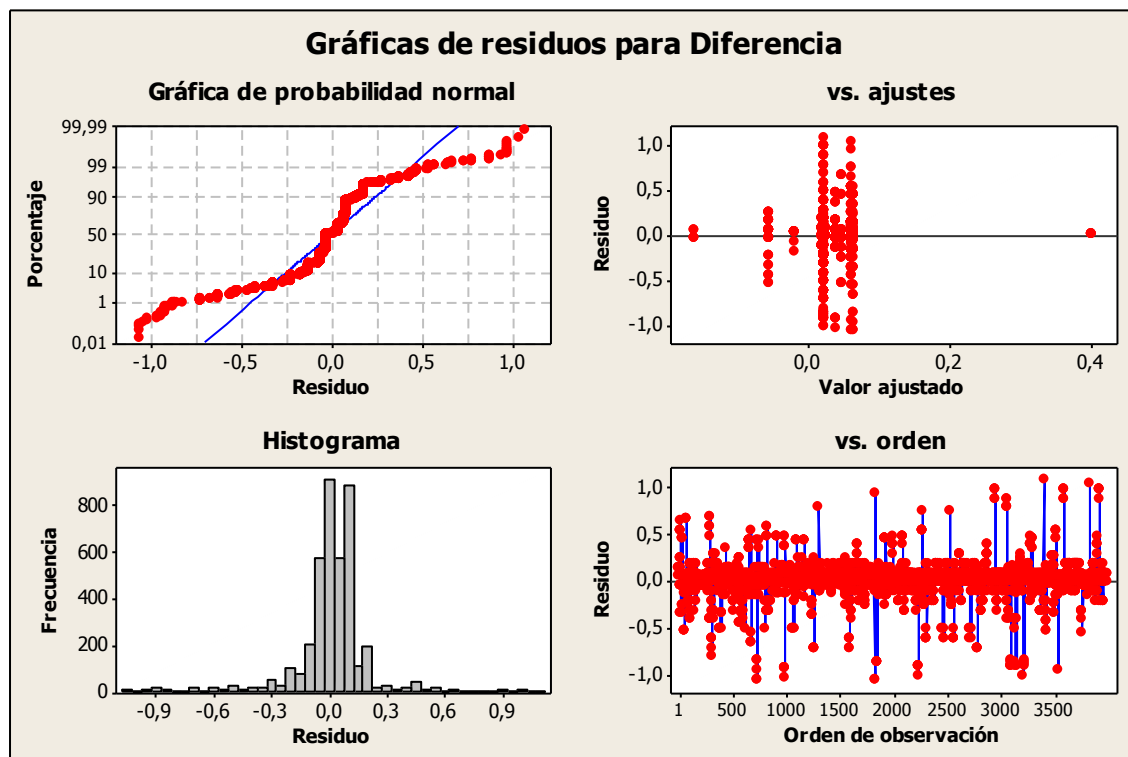
Estadísticas descriptivas: Diferencia

Variable	Producto	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.
Diferencia	Bellini evolution 1,40	1100	0	0,02281	0,00583	0,19329
	Bellini evolution 1,40	5	0	0,40000	0,000000	0,000000
	Bellini evolution 1,60	63	0	0,0476	0,0327	0,2596
	Benevello 1,40 cont	65	0	-0,0554	0,0234	0,1888
	Obsesion evolution 1,40	65	0	0,0200	0,0103	0,0833
	Rosetevol 2x2	15	0	-0,0200	0,0145	0,0561
	Roset evolution 1,40	757	0	0,06036	0,00586	0,16129
	Volvo cont. 1,40	1086	0	0,02335	0,00640	0,21076
	Volvo cont. 1,40	5	0	-0,1600	0,0245	0,0548
	Volvo cont. 2x2	255	0	0,0220	0,0105	0,1672
	Zagrey cont. 1,37	345	0	0,0653	0,0107	0,1988
	Zagrey cont. 1,52	210	0	0,0405	0,0131	0,1893
	Zagrey cont. 1,93	15	0	0,0267	0,0118	0,0458

Variable	Producto	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
Diferencia	Bellini evolution 1,40	0,03736	-0,90000	0,00000	0,00000
	Bellini evolution 1,40	0,000000	0,40000	0,40000	0,40000
	Bellini evolution 1,60	0,0674	-0,5000	0,0000	0,0000
	Benevello 1,40 cont	0,0356	-0,6000	-0,1000	0,0000
	Obsesion evolution 1,40	0,0069	-0,1000	0,0000	0,0000
	Rosetevol 2x2	0,0031	-0,2000	0,0000	0,0000
	Roset evolution 1,40	0,02602	-1,00000	0,00000	0,10000
	Volvo cont. 1,40	0,04442	-1,00000	0,00000	0,00000
	Volvo cont. 1,40	0,0030	-0,2000	-0,2000	-0,2000
	Volvo cont. 2x2	0,0280	-1,0000	0,0000	0,0000

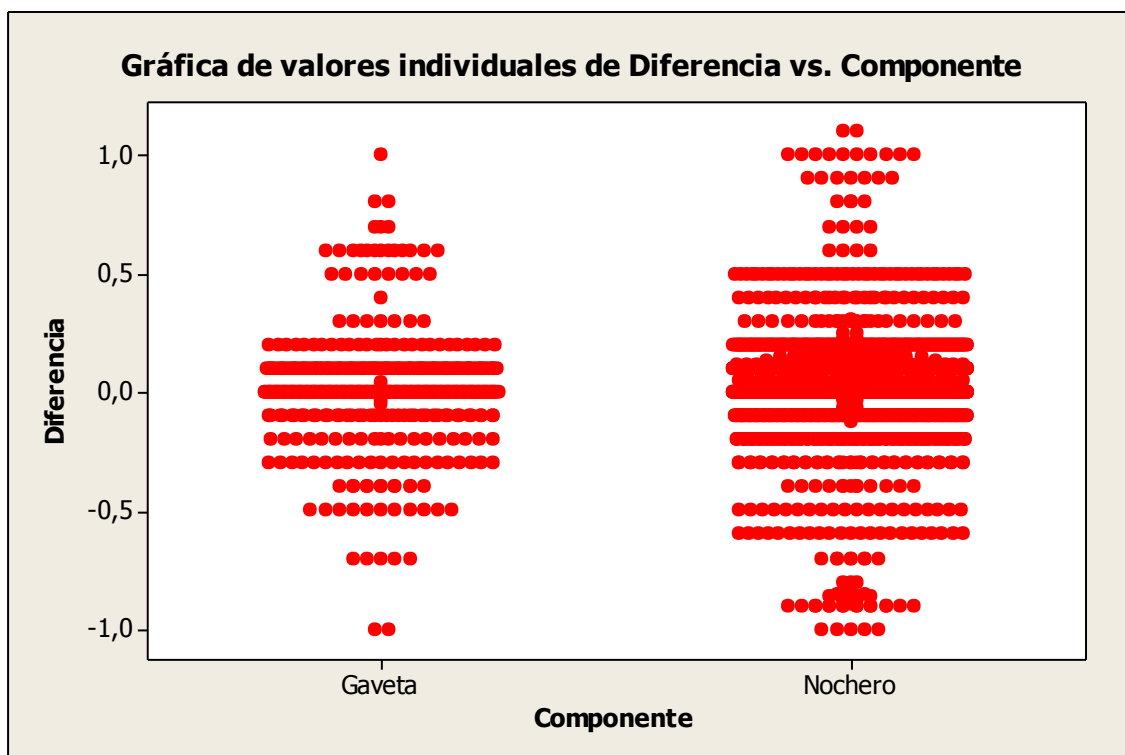
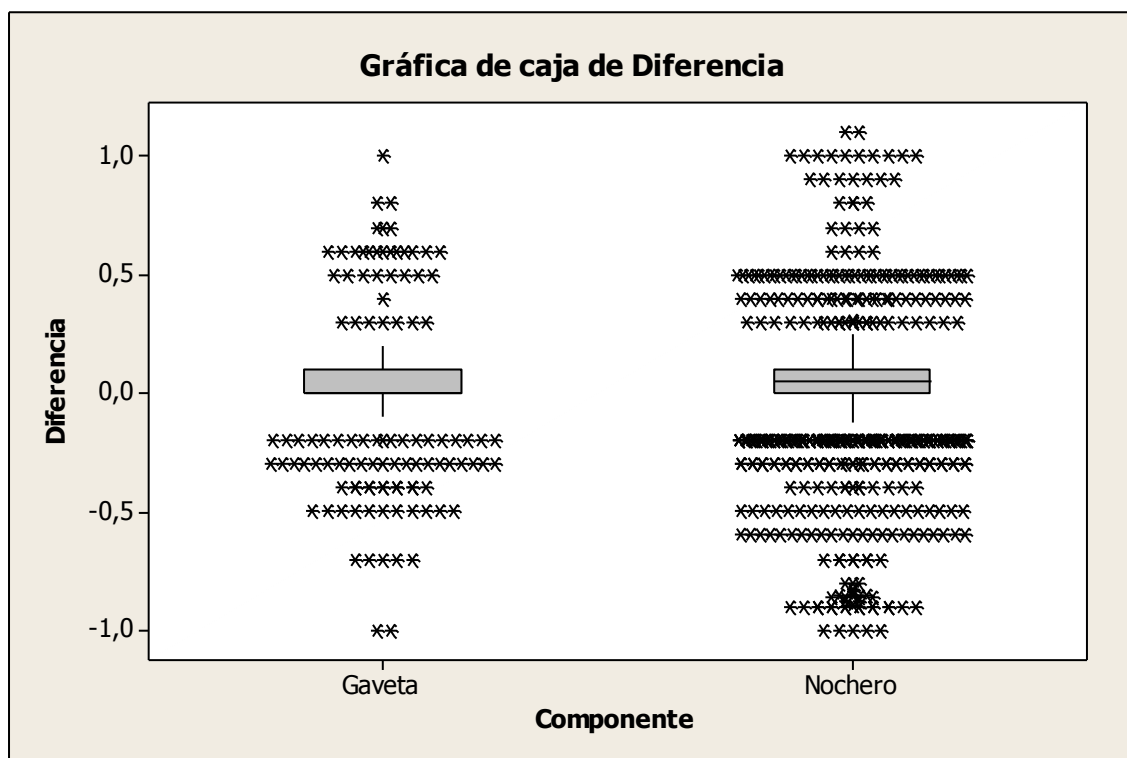
Zagrey cont. 1,37	0,0395	-1,0000	0,0000	0,1000
Zagrey cont. 1,52	0,0358	-1,0000	0,0000	0,0000
Zagrey cont. 1,93	0,0021	0,0000	0,0000	0,0000
Variable	Producto	Q3	Máximo	Rango
Diferencia	Bellini evolution 1,40	0,10000	1,10000	2,00000
	Bellini evolution 1,40	0,40000	0,40000	0,000000
	Bellini evolution 1,60	0,1000	0,7000	1,2000
Benevello 1,40 cont.	0,0000	0,2000	0,8000	
Obsesion evolution 1,40	0,1000	0,2000	0,3000	
Rosetevol 2x2	0,0000	0,0000	0,2000	
Roset evolution 1,40	0,10000	1,10000	2,10000	
	Volvo cont. 1,40	0,10000	1,00000	2,00000
	Volvo cont. 1,40	-0,1000	-0,1000	0,1000
Volvo cont. 2x2	0,1000	0,5000	1,5000	
Zagrey cont. 1,37	0,1000	0,6000	1,6000	
Zagrey cont. 1,52	0,1000	0,5000	1,5000	
Zagrey cont. 1,93	0,1000	0,1000	0,1000	

***Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.**



ANEXO 11:

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DIFERENCIA vs COMPONENTE



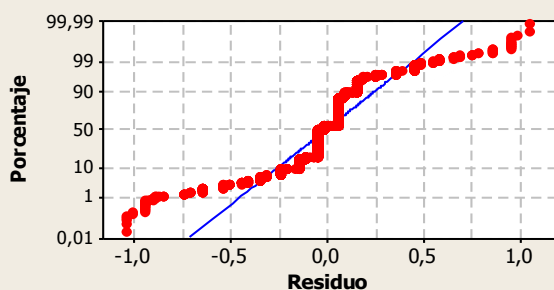
Estadísticas descriptivas: Diferencia

Variable	Componente	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza
Diferencia	Gaveta	465	0	0,0055	0,0108	0,2335	0,0545
	Nochero	3521	0	0,03755	0,00312	0,18541	0,03438

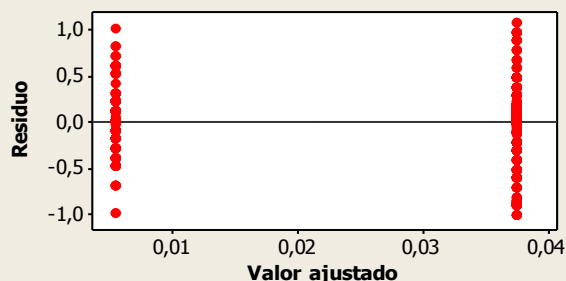
Variable	Componente	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Diferencia	Gaveta	-1,0000	0,0000	0,0000	0,1000	1,0000	2,0000
	Nochero	-1,00000	0,00000	0,05000	0,10000	1,10000	2,10000

Gráficas de residuos para Diferencia

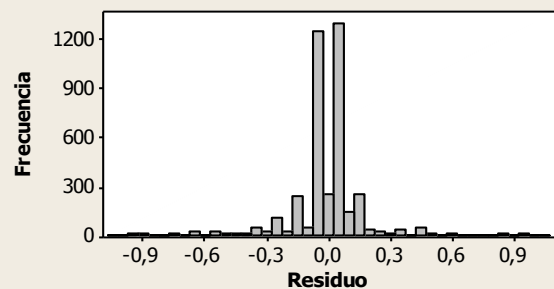
Gráfica de probabilidad normal



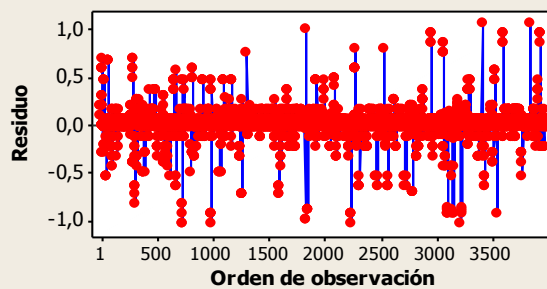
vs. ajustes



Histograma

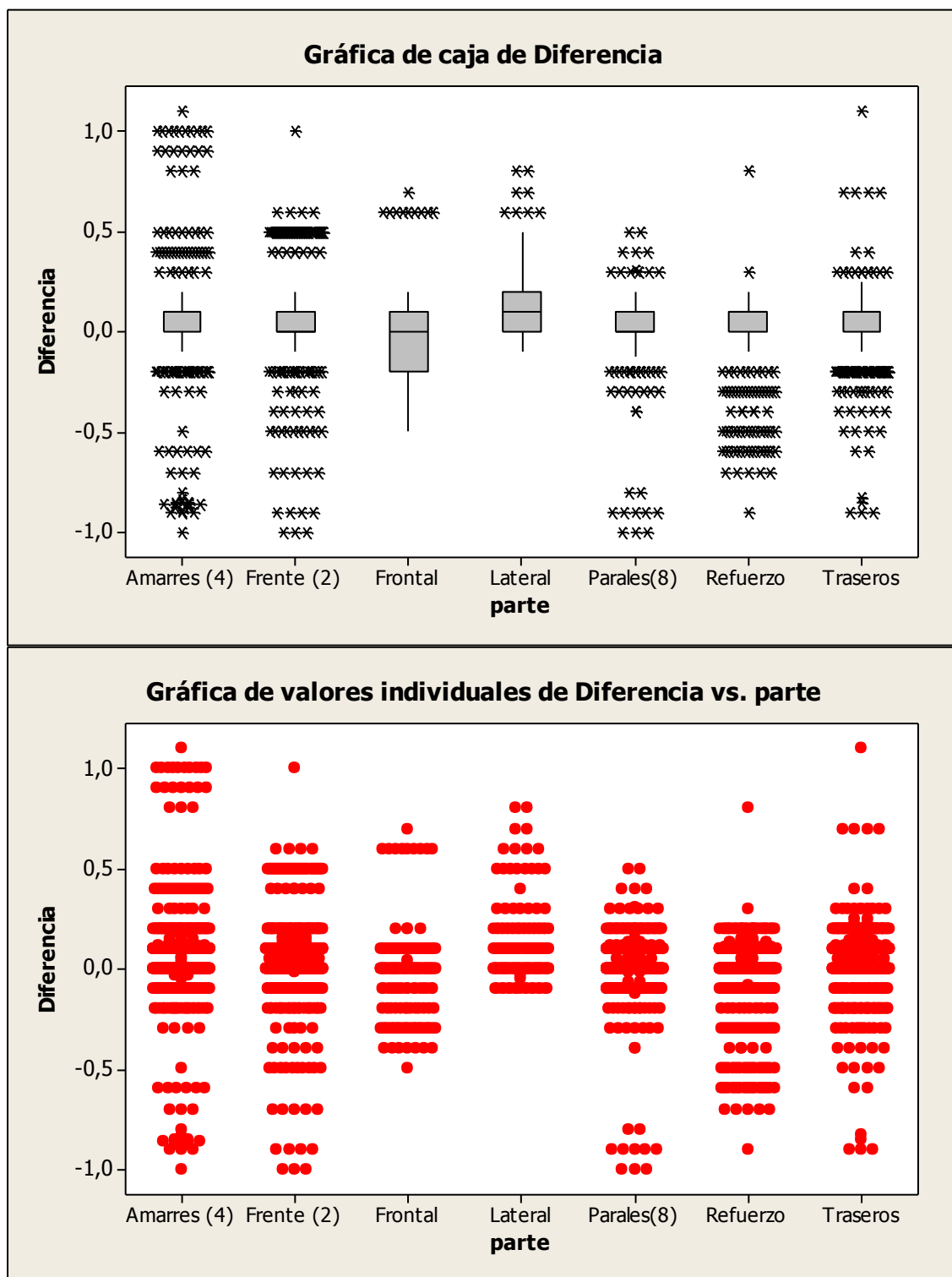


vs. orden



ANEXO 12

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DIFERENCIA vs PARTE:



Estadísticas descriptivas: Diferencia

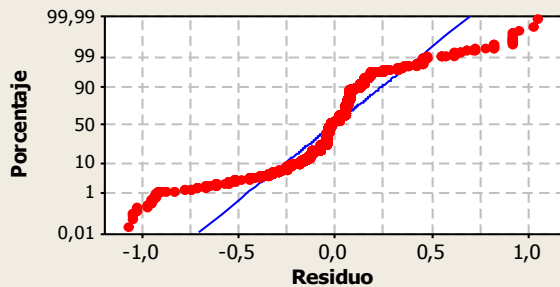
					Error estándar de		
Variable	parte	N	N*	Media	la media	Desv.Est.	Varianza
Diferencia	Amarres (4)	687	0	0,06322	0,00976	0,25577	0,06542
	Frente (2)	861	0	0,03692	0,00631	0,18521	0,03430
	Frontal	165	0	-0,0240	0,0172	0,2212	0,0489
	Lateral	170	0	0,1107	0,0143	0,1870	0,0350
	Parales(8)	727	0	0,01851	0,00557	0,15022	0,02257
	Refuerzo	672	0	0,00869	0,00681	0,17665	0,03120
	Traseros	704	0	0,03608	0,00609	0,16146	0,02607

Variable	parte	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Diferencia	Amarres (4)	-1,00000	0,00000	0,10000	0,10000	1,10000	2,10000
	Frente (2)	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	1,00000	2,00000
	Frontal	-0,50000	-0,20000	0,00000	0,10000	0,70000	1,20000
	Lateral	-0,10000	0,00000	0,10000	0,20000	0,80000	0,90000
	Parales(8)	-1,00000	0,00000	0,00000	0,10000	0,50000	1,50000
	Refuerzo	-0,90000	0,00000	0,10000	0,10000	0,80000	1,70000
	Traseros	-0,90000	0,00000	0,10000	0,10000	1,10000	2,00000

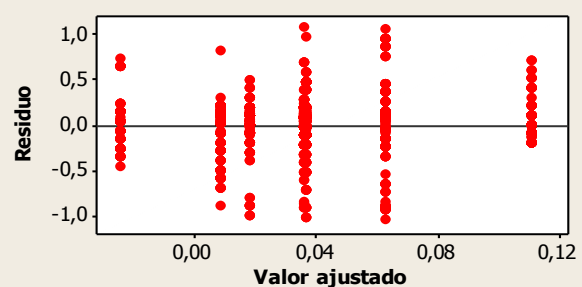
*Resultados obtenidos del paquete estadístico de Minitab.

Gráficas de residuos para Diferencia

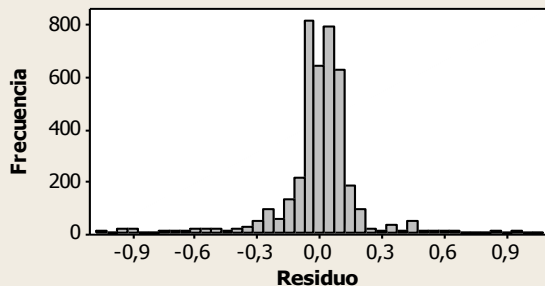
Gráfica de probabilidad normal



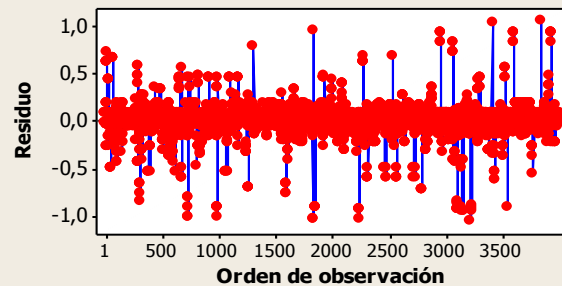
vs. ajustes



Histograma

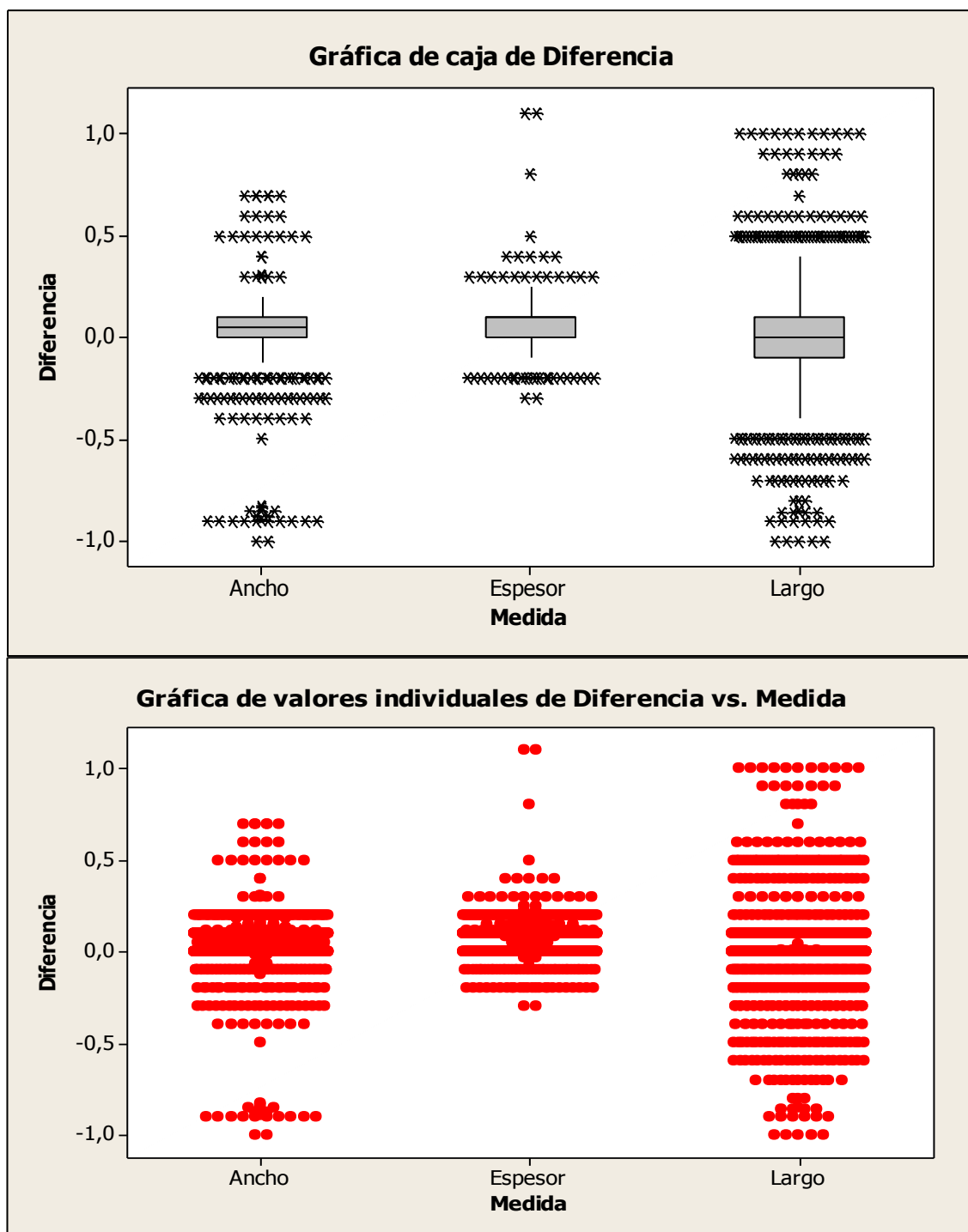


vs. orden



ANEXO 13

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DIFERENCIA vs MEDIDA:



Estadísticas descriptivas: Diferencia

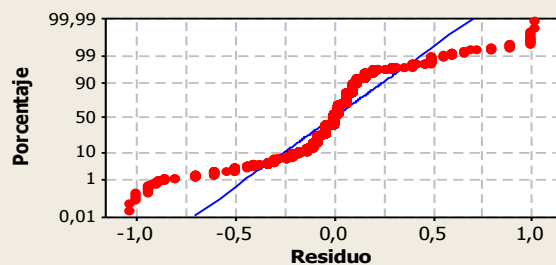
Variable	Medida	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza
Diferencia	Ancho	1405	0	0,03448	0,00434	0,16281	0,02651
	Espesor	1172	0	0,07469	0,00294	0,10067	0,01014
	Largo	1409	0	-0,00086	0,00688	0,25836	0,06675

Variable	Medida	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Diferencia	Ancho	-1,00000	0,00000	0,05000	0,10000	0,70000	1,70000
	Espesor	-0,30000	0,00000	0,10000	0,10000	1,10000	1,40000
	Largo	-1,00000	-0,10000	0,00000	0,10000	1,00000	2,00000

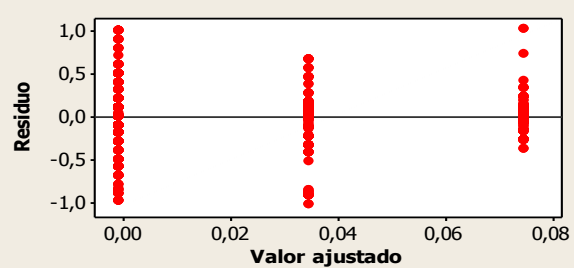
*Resultados obtenidos del paquete estadístico Minitab.

Gráficas de residuos para Diferencia

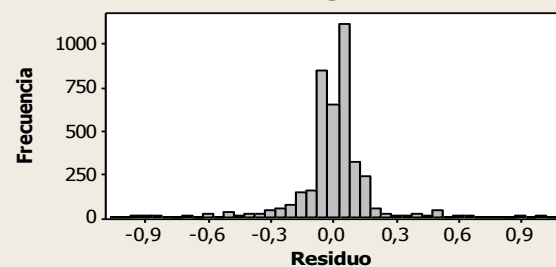
Gráfica de probabilidad normal



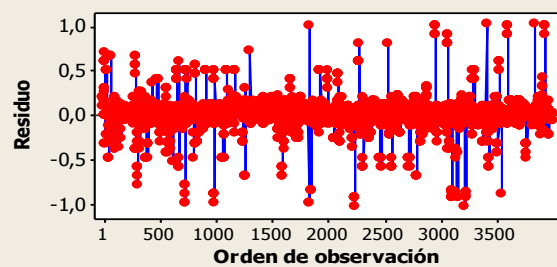
vs. ajustes



Histograma



vs. orden



ANEXO 14
ANÁLISIS DE MODO Y FALLA (AMEF):

Etapa del proceso	Modo de fallo	Efectos	Severidad	Causa Potencial	Frecuencia	Controles	Detección	RPN	Acciones Recomendadas
Corte de madera en sierra circular	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cepillar pieza	8	Guía mal colocada	7	El operador debe realizar una inspección de las guías antes de comenzar a cortar.	7	392	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cepillar pieza	8	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuentan con sistema de medición	1	64	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cepillar pieza	8	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	384	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cepillar pieza	8	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el corte	6	384	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.
	Cortar por encima de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de estandarización de las piezas	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.	2	180	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas
	Cortar por encima de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	8	Falta de control en las medidas	9	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	216	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
	Cortar por encima de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los	2	180	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos

de la tolerancia					errores al momento de utilizarlos.			
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Guía mal colocada	7	El operador debe realizar una inspección de las guías antes de comenzar a cortar.	7	490	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuentan con sistema de medición	1	80	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	480	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el corte	6	480	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Falta de estandarización de las piezas	9	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.	2	180	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Falta de control en las medidas	9	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	270	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los errores al momento de utilizarlos.	2	200	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos
Cortar por	Nocheros mal	9	Falta de estandarizaciónde	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas	2	180	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las

debajo de la tolerancia	ensamblado		las piezas		de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.			medidas
Cortar por debajo de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de control en las medidas	9	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	243	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
Cortar por debajo de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los errores al momento de utilizarlos.	2	180	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Guía mal colocada	7	El operador debe realizar una inspección de las guías antes de comenzar a cortar.	7	490	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Mal calibrado del cepillo	5	El operador debe realizar una inspección si el calibrado del cepillo es el correcto antes de utilizarlo.	8	400	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Falta de afilado de discos de corte	5	El encargado del mantenimiento debe afilar los discos de corte cada 15 días de uso.	7	350	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuentan con sistema de medición	1	80	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	480	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el corte	6	480	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.

	Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Falta de estandarización de las piezas	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.	2	200	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas
	Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Falta de control en las medidas	10	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	300	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
	Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Falta de afilado de discos de corte	5	El encargado del mantenimiento debe afilar los discos de corte cada 15 días de uso.	7	245	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
	Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Falta de afilado de cuchillas de canteadora	5	El encargado del mantenimiento debe afilar los discos de corte cada 15 días de uso.	7	245	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
	Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Tipo de disco de corte	5	Detectar que los discos de corte sean los indicados para la operación.	8	280	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
	Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Mal calibrado del cepillo	5	El operador debe realizar una inspección si el calibrado del cepillo es el correcto antes de utilizarlo.	8	280	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
Corte de madera en sierra radial	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Guía mal colocada	7	El operador debe realizar una inspección de las guías antes de comenzar a cortar.	7	392	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Guías no adecuada para la operación	9	El supervisor debe revisar que las guías sean las correctas para la operación del corte del día.	1	72	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía

Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Guías defectuosas	9	El supervisor antes de comenzar con la labor del día verificar que las diferentes guías estén en buen estado.	1	72	Plantear el tiempo de uso de la guía y proponer cambiar el material de su fabricación por uno más resistente.
Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuentan con sistema de medición	1	64	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición
Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	384	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición
Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el corte	6	384	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.
Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Falta de Fijación de guías en la radial	5	El operario debe identificar si la fijación de las prensas es la correcta.	5	200	Proponer un sistema de fijación de las guías, para evitar la variabilidad de las medidas.
Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Tipo de disco de corte	5	Detectar que los discos de corte sean los indicados para la operación.	8	320	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Mesa de tope adecuada	10	El supervisor debe verificar que las mesas de tope de la radial se encuentren en buen estado.	2	160	Diseñar nuevas mesas de tope (Radiales).
Cortar por encima de la	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de estandarización de las piezas	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando	2	180	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas

tolerancia					dispositivos.				
Cortar por encima de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de control en las medidas	9	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	243	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte	
Cortar por encima de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los errores al momento de utilizarlos.	2	180	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Guía mal colocada	7	El operador debe realizar una inspección de las guías antes de comenzar a cortar.	7	490	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Guías no adecuada para la operación	8	El supervisor debe revisar que las guías sean las correctas para la operación del corte del día.	1	80	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Guías defectuosas	9	El supervisor antes de comenzar con la labor del día verificar que las diferentes guías estén en buen estado.	1	90	Plantear el tiempo de uso de la guía y proponer cambiar el material de su fabricación por uno más resistente.	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuentan con sistema de medición	1	80	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	480	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición	
Cortar por	Se rechaza la pieza	10	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el	6	480	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad	

debajo de la tolerancia					corte			de corte específica.
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Falta de Fijación de guías en la radial	5	El operario debe identificar si la fijación de las prensas es la correcta.	5	250	Proponer un sistema de fijación de las guías, para evitar la variabilidad de las medidas.
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Mesa de tope adecuada	10	El supervisor debe verificar que las mesas de tope de la radial se encuentren en buen estado.	2	200	Diseñar nuevas mesas de tope (Radiales).
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Tipo de disco de corte	5	Detectar que los discos de corte sean los indicados para la operación.	8	400	Plantear un checklist para monitorear el estado de las maquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
Cortar por debajo de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de estandarización de las piezas	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.	2	180	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas
Cortar por debajo de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de control en las medidas	10	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	270	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
Cortar por debajo de la tolerancia	Nocheros mal ensamblado	9	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los errores al momento de utilizarlos.	3	270	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos
Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Falta de afilado de discos de corte	5	El encargado del mantenimiento debe afilar los discos de corte cada 15 días de uso.	7	245	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)

	Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Falta de afilado de cuchillas de canteadora	5	El encargado del mantenimiento debe afilar los discos de corte cada 15 días de uso.	7	245	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
	Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Tipo de disco de corte	5	Detectar que los discos de corte sean los indicados para la operación.	8	280	Plantear un checklist para monitorear el estado de las máquinas y sus piezas (calibrado y si cuenta con los discos correctos)
	Mala calidad del Corte	Se extiende labor de pulido	7	Mal calibrado del cepillo	5	El operador debe realizar una inspección si el calibrado del cepillo es el correcto antes de utilizarlo.	8	280	Plantear un checklist para monitorear el estado de las maquinas y sus piezas
Corte de MDF en la escuadradora	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Mal aseguramiento de la guía de la escuadradora	9	No existe control	7	504	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el corte	6	384	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Mal calibrado de escuadradora	9	No existe control	6	432	Realizar procedimientos de cómo calibrar correctamente la escuadradora
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuentan con sistema de medición	1	64	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición
	Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	384	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición

Cortar por encima de la tolerancia	Volver a cortar pieza	8	Falta de control en las medidas	8	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	192	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
Cortar por encima de la tolerancia	Gaveta no encajan en nochero	10	Falta de estandarización de las piezas	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.	2	200	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas
Cortar por encima de la tolerancia	Gaveta no encajan en nochero	10	Falta de control en las medidas	9	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	270	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
Cortar por encima de la tolerancia	Gaveta no encajan en nochero	10	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los errores al momento de utilizarlos.	3	300	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos
Cortar por encima de la tolerancia	Frente de gaveta no encaja en nochero	10	Falta de estandarización de las piezas	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.	2	200	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas
Cortar por encima de la tolerancia	Frente de gaveta no encaja en nochero	10	Falta de control en las medidas	10	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	300	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Mal aseguramiento de la guía de la escuadradora	8	El supervisor y el operario deben verificar que la guía de la escuadradora se encuentre bien instalada.	7	560	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía
Cortar por debajo de la	Se rechaza la pieza	10	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el corte	6	480	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.

tolerancia									
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Mal calibrado de escuadradora	8	El operario debe revisar el calibrado de la escuadradora antes de comenzar la producción del día.	6	480	Realizar procedimientos de cómo calibrar correctamente la escuadradora	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuentan con sistema de medición	1	80	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	480	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición	
Cortar por debajo de la tolerancia	Se rechaza la pieza	10	Falta de control en las medidas	9	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	270	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte	
Cortar por debajo de la tolerancia	Gaveta no encajan en nochero	10	Falta de estandarización de las piezas	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.	2	200	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las medidas	
Cortar por debajo de la tolerancia	Gaveta no encajan en nochero	10	Falta de control en las medidas	10	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	300	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte	
Cortar por debajo de la tolerancia	Gaveta no encajan en nochero	10	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los errores al momento de utilizarlos.	3	300	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos	
Cortar por	Frente de gaveta no	10	Falta de estandarización de	10	Se debe inspeccionar de manera aleatoria las piezas	2	200	Creación de dispositivos y eliminar variabilidad de las	

debajo de la tolerancia	encaja en nochero		las piezas		de cada grupo para verificar si están utilizando dispositivos.			medidas
Cortar por debajo de la tolerancia	Frente de gaveta no encaja en nochero	10	Falta de control en las medidas	9	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	270	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte
Cortar por debajo de la tolerancia	Frente de gaveta no encaja en nochero	10	Falta de utilización de dispositivos	10	Controlar el uso de los dispositivos por revisiones periódicas y determinar los errores al momento de utilizarlos.	2	200	Concientizar a los empleados sobre la importancia del uso de los dispositivos
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Mal aseguramiento de la guía de la escuadradora	8	El supervisor y el operario deben verificar que la guía de la escuadradora se encuentre bien instalada.	7	560	Rediseñar la guía. Cambiar el material de la guía, cambiar el sistema de fijación de la guía
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Operación de corte inadecuada	8	Inspeccionar las primeras piezas para garantizar el corte	6	480	Realizar procedimientos de cómo ejecutar una actividad de corte específica.
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Mal calibrado de escuadradora	8	El operario debe revisar el calibrado de la escuadradora antes de comenzar la producción del día.	6	480	Realizar procedimientos de cómo calibrar correctamente la escuadradora
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	No utiliza sistema de medición	8	El supervisor antes de comenzar con la labor revisa que operadores no cuenten con sistema de medición	1	80	Plantear un checklist para asegurar el uso del sistema de medición
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Uso inadecuado de los sistemas de medición	8	Por lo menos una vez al día revisar como los operarios utilizan el sistema de medición para evitar problemas	6	480	Realizar seguimientos y capacitaciones en el uso de los sistemas de medición
Corte Irregular	Se rechaza la pieza	10	Falta de control en las medidas	10	Verificar las medidas de las piezas resultantes en diferentes cortes del día.	3	300	Establecer tabla de muestreo Military Standard para controlar las piezas de corte